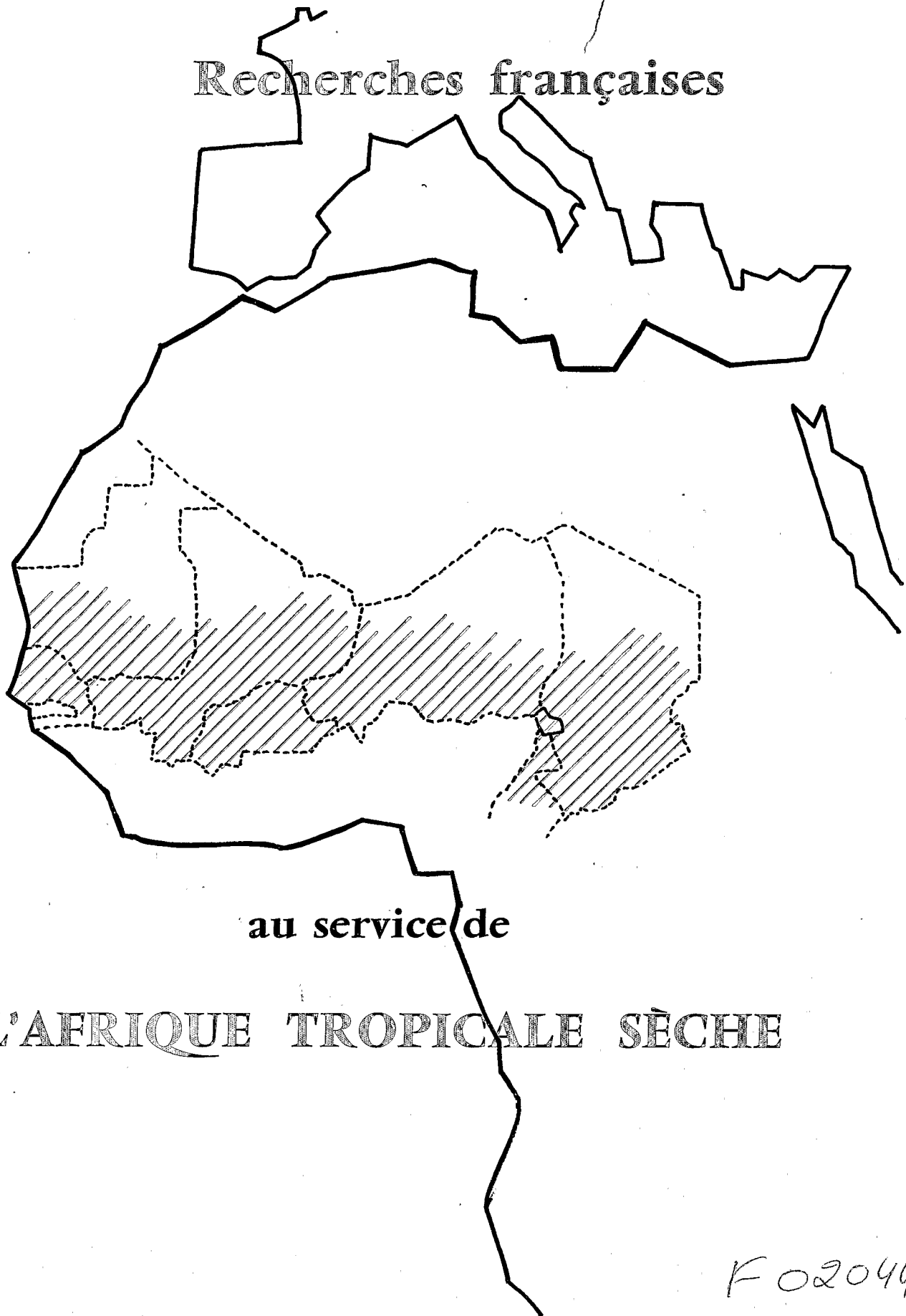


Recherches françaises



au service de

L'AFRIQUE TROPICALE SÈCHE

F02044

Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères

MZ 72.919

Z F

174

mpl N

Recherches françaises  
au service de  
**L'AFRIQUE TROPICALE SÈCHE**

Actions en cours  
et  
résultats obtenus

**ORSTOM**

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE-MER

**BRGM**

BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

**GERDAT**

GROUPEMENT D'ÉTUDES ET DE  
RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT  
DE L'AGRONOMIE TROPICALE



## INTRODUCTION

Dans les pays africains situés au sud du Sahara jusqu'aux 11° et 12° degrés de latitude Nord, de vastes régions sont soumises habituellement à des périodes de saison sèche de durée supérieure à six mois. La saison des pluies est en conséquence réduite et les possibilités de développement de la végétation des cultures et des pâturages se trouvent constamment menacées par le moindre écart par rapport à la moyenne saisonnière. Outre la faible durée de la saison humide, il convient de prendre en considération les variations d'une année à l'autre de l'intensité des pluies ainsi que de leur répartition, les déficits de la pluviosité par rapport à la normale ou sa répartition irrégulière peuvent compromettre toutes cultures.

Ces phénomènes généralement concomitants ont des effets immédiats et multiples tant sur les animaux et les végétaux que sur leur environnement. Nous citerons notamment la baisse du niveau des nappes phréatiques, le tarissement progressif des puits et autres points d'eau, la chute du débit et de l'étiage des cours d'eau.

Des pluies tardives entraînent des semis également tardifs ayant peu de chances de permettre à la culture un cycle normal de végétation : les récoltes peuvent être gravement compromises, voire anéanties, les pâturages s'assèchent prématurément et meurent, avec comme conséquence une transhumance trop précoce des troupeaux sur des trajets anormalement longs.

Le bétail peut être décimé, les rendements des cultures abaissés de manière considérable et les populations de ces régions souffrent en conséquence de sous-alimentation, pouvant aller jusqu'à la famine.



L'Afrique tropicale à longue saison sèche subit précisément depuis quelques années un déficit pluviométrique très sévère qui est responsable, au début de l'année 1973, de la situation catastrophique que l'on connaît. Les effets de cette sécheresse se font sentir jusque dans les régions à longue saison des pluies ; mais c'est le domaine géographique compris entre le Sahara et les isohyètes 1 100 - 1 200 mm qui a été le plus touché. La carte jointe montre clairement que les États concernés sont surtout la Mauritanie, le Sénégal, le Mali, la Haute-Volta, le Niger, le Tchad, auxquels s'ajoutent les parties Nord du Cameroun, du Nigeria, du Dahomey, du Togo et du Ghana. Des données pluviométriques soulignent également le phénomène en indiquant pour quatre stations la pluviosité totale par rapport à la moyenne. On ne peut qu'être frappé par le déficit des précipitations dans les régions concernées et par le raccourcissement impressionnant des périodes « agricoles » qui, en temps normal, permettent à peine le développement de la végétation.

Pour certains, cette succession d'années arides a pris une signification précise : le Sahara descend vers le sud puisqu'il ne pleut plus et que les sources et points d'eau sont désormais taris.

Le caractère sommaire d'une telle analyse est à signaler et l'existence de deux phénomènes est à considérer :

- Le premier est constitué par une « série » d'années sèches comme l'Afrique en a subi sept depuis 1829. Ce phénomène semble revêtir une allure rythmique. Les recherches en cours dans ce domaine sont très complexes et de longue haleine.
- Au surplus, la pression trop forte que l'homme exerce localement sur un environnement fragile peut se traduire par une

stérilisation progressive des sols en place dans les zones marginales.

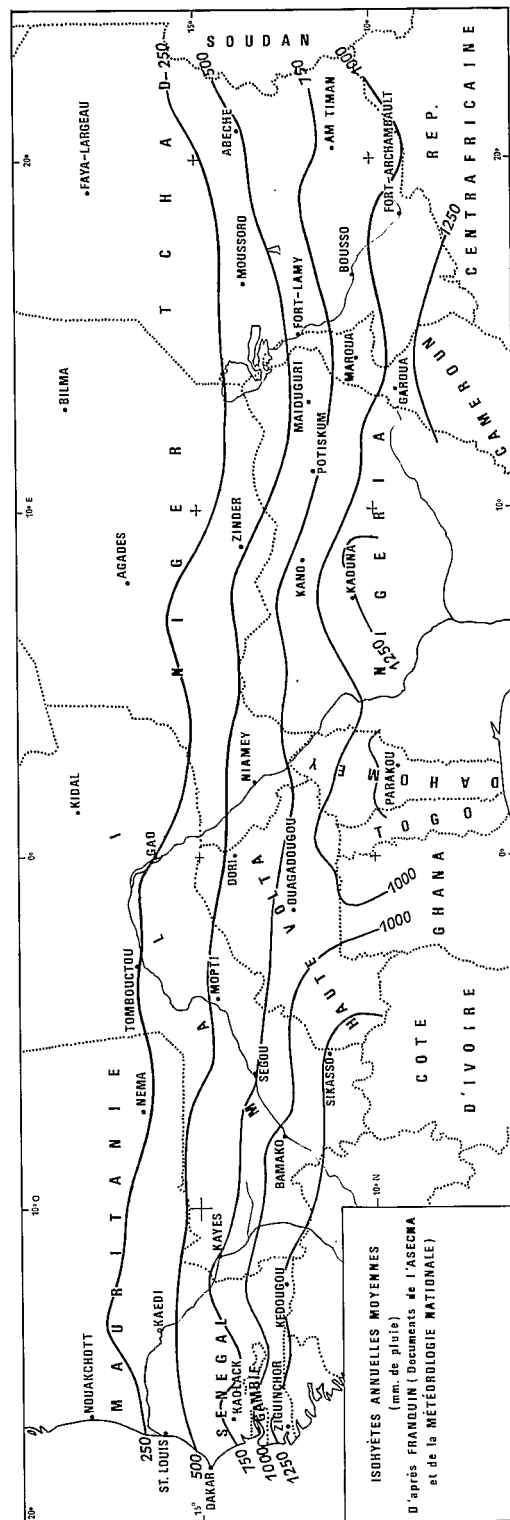
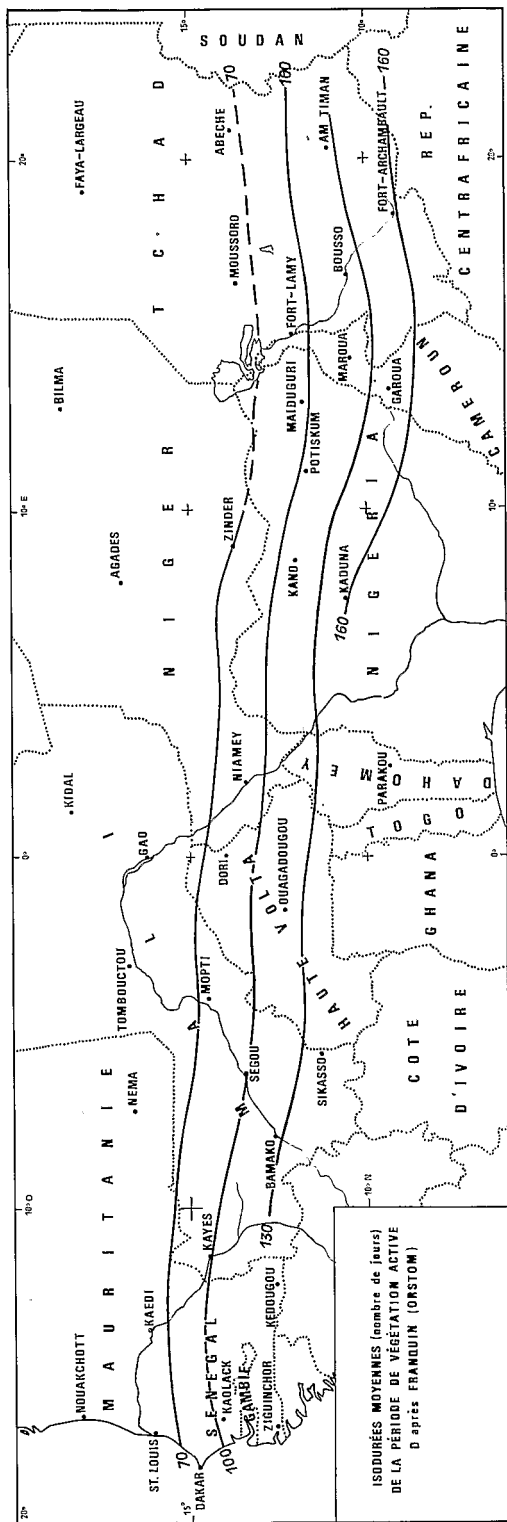
L'accroissement démographique et économique conduit en effet à la fixation des populations, entraînant l'abandon des longues jachères. Il en résulte une destruction du couvert végétal et, par voie de conséquence, une diminution de l'infiltration des pluies. Des processus de ruissellement et d'érosion prennent naissance, provoquant à la longue une stérilisation plus ou moins poussée des sols. D'autre part, on assiste trop souvent, devant le manque de bonnes terres, à la mise en valeur de sols inadéquats, du fait de leur pente ou de leur trop faible fertilité. Comme, enfin, la réduction de l'infiltration amène souvent la diminution des réserves en eau du sol, on conçoit que tout déficit pluviométrique important entraîne dans ces zones l'interruption du ravitaillement hydrique de la végétation.

Il apparaît donc que l'on se trouve devant les conséquences de la rupture d'un équilibre écologique ancien, respecté par les formes traditionnelles de mise en valeur tant que la pression démographique est restée modérée.

Les remèdes à cette situation sont à rechercher du côté de l'établissement d'un nouvel équilibre résultant d'un aménagement agro-sylvo-pastoral de l'espace rural. Dans cette perspective, une contribution importante peut être fournie par les travaux conduits depuis de nombreuses années par les Instituts membres du Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.), par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) et par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

Le présent document a pour objet de donner un aperçu de cette action et des principaux résultats obtenus. Il a été établi en vue de faciliter le bilan des connaissances disponibles et d'aider à orienter les nouveaux efforts qui pourraient être entrepris pour tenter de trouver une solution aux problèmes auxquels les Etats de l'Afrique sèche se trouvent confrontés.







# **PLUVIOMETRIE ET DUREE DE LA PERIODE DE VEGETATION ACTIVE**

	KAEDI Mauritanie	NIAMEY Niger	FORT LAMY Tchad	KAOLACK Sénégal
	1972   Normale	1972   Normale	1972   Normale	1972   Normale
	en mm	en mm	en mm	en mm
Avril	—   2	11   3	—   5	—   —
Mai	—   3	16   24	34   36	—   8
Juin	27   29	55   79	96   65	82   61
Juillet	9   87	102   101	187   156	16   160
Août	60   166	82   206	137   257	164   295
Septembre	22   95	57   100	85   104	188   201
Octobre	10   20	16   21	60   23	40   64
Novembre	—   4	—   —	6   1	—   4
TOTAL	128   416	343   534	599   647	490   793
	en jours	en jours	en jours	en jours
Période de végétation	—   40	15   75	65   80	55   100

***LES ACTIVITÉS  
ET LES RECHERCHES  
DE L'O.R.S.T.O.M.***

## LES ACTIVITES ET LES RESULTATS DE L'O.R.S.T.O.M.

### GENERALITES

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) est un établissement public français chargé d'entreprendre, hors des régions tempérées, des recherches fondamentales orientées vers les productions végétales et animales, ainsi que vers la détermination des données de base du milieu naturel et humain. Pour remplir ce rôle, l'O.R.S.T.O.M. a été également chargé de créer une infrastructure scientifique, et d'assurer la formation du personnel spécialisé en matière de recherche scientifique et technique.

Les recherches entreprises par l'Office dans le domaine géographique particulier de l'Afrique « sèche » se sont développées depuis 1945 à partir de différentes bases. En premier lieu, il s'agit des Centres appartenant à l'O.R.S.T.O.M. et installés dans la région considérée, à Dakar, M'Bour et Richard-Toll (Sénégal), Ouagadougou (Haute-Volta), Niamey (Niger), Fort-Lamy (Tchad). En second lieu, il s'agit de bases implantées dans des structures étrangères, c'est le cas du Centre d'Océanographie de Thiaroye (Sénégal) géré par l'O.R.S.T.O.M., et de la Mission d'Entomologie médicale que ce dernier a implanté à Bobo-Dioulasso auprès de l'O.C.C.G.E. (Organisation commune de lutte contre les grandes endémies en Afrique de l'Ouest). Enfin, il s'agit des bases installées dans d'autres pays que ceux relevant de l'Afrique « sèche » et d'où sont parties pour « cette dernière » des missions de spécialistes divers. Il s'agit surtout des Centres d'Adiopodoumé (Côte-d'Ivoire), de Bangui (R.C.A.) et de Bondy (France) où sont installés les Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. Les recherches réalisées par l'Office dans les régions de l'Afrique « sèche » ont donc bénéficié d'un soutien logistique important. Les spécialistes qui les ont exécutées couvraient un large éventail concernant les sciences de la terre, les sciences biologiques, les sciences des milieux marins et enfin, les sciences humaines. C'est une présentation, non exhaustive des résultats obtenus, et des recherches en cours, dans l'ensemble de ces disciplines, qui sera présentée par la suite. L'exposé comprendra quatre parties, successivement :

- connaissance du milieu naturel et de ses ressources,
- mécanismes et contraintes de la production,
- connaissance des facteurs humains du développement,
- l'étude interdisciplinaire du Bassin Tchadien.



## CONNAISSANCE DU MILIEU NATUREL ET DE SES RESSOURCES

### LES RECHERCHES SUR LES SOLS ET LEUR EVOLUTION

Les recherches concernant les sols et leur milieu ont été effectuées par des pédologues, mais également par des biologistes, des géologues d'altération, des botanistes et des agronomes. Elles ont eu plusieurs objectifs dont les premiers ont été l'inventaire et la cartographie. Par la suite s'y sont ajoutées des recherches plus fondamentales sur la pédogénèse, sur les conditions de milieu, enfin sur la biologie des sols.

#### L'inventaire des sols

Un inventaire systématique des types de sols répartis dans les régions de l'Afrique « sèche » a été réalisé entre 1946 et 1970. Il a été suscité par de nombreuses demandes de services locaux en vue de projets agromonomiques ou de préoccupations de planification régionale. Il a mis en évidence l'existence de sols très variés, dont il faut souligner la forte différenciation des profils en horizons par rapport à ceux des régions humides à sols ferrallitiques. C'est ainsi que les deux types morphologiques extrêmes sont représentés par des sols sableux profonds sur matériaux dunaires d'origine éolienne et par des sols fortement argileux à caractères vertiques. Les premiers sont pauvres chimiquement, à faible capacité de rétention pour l'eau, mais avec bonne disponibilité de cette dernière ; les seconds sont riches chimiquement mais avec des structures particulières rendant délicate leur utilisation agricole. Outre l'inconvénient que représente pour la mise en valeur l'existence d'une telle gamme de profils, dont la profondeur utile est d'ailleurs très variable, il faut ajouter que les sols de « l'Afrique sèche » présentent souvent dans leurs horizons supérieurs des caractéristiques structurales instables. L'importance de ce fait est telle que les caractéristiques de richesse chimique passent parfois au second plan pour les utilisateurs.

#### La cartographie pédologique

La répartition des sols dans les paysages a été matérialisée par de très nombreuses cartes à des échelles variées. A grande échelle (du 1/10.000 au 1/20.000) les travaux ont toujours été réalisés en vue de projets précis de mise en valeur. Par contre, à échelle moyenne (1/100.000 et 1/200.000) la réalisation des cartes a été faite de manière plus systématique, souvent dans le cadre de régions entières ou de découpages arbitraires administratifs ou géographiques. C'est ainsi que tout le Tchad « agricole » a été levé au 1/200.000, chacune des cartes étant accompagnée d'une notice ou d'un rapport. Par contre, en Haute-Volta, seules les régions voisines des rivières Volta Rouge et Blanche ont été étudiées à cette échelle ; et au Sénégal, c'est le cas de la région orientale. Les rapports accompagnant les cartes de Haute-Volta mettent l'accent sur l'existence de sols chimiquement riches, mais dont l'utilisation a été abandonnée plus ou moins récemment par la population du fait d'endémies (onchocercose). Cet état de fait montre l'importance des facteurs sanitaires et humains dans la mise en valeur de certaines régions de l'Afrique.

A petite échelle, un travail important de cartographie a été réalisé également puisque les cartes au 1/500.000 sont terminées pour l'ensemble de la Haute-Volta et pour toute la partie agricole du Niger, tandis que des synthèses à l'échelle du millionième ont été publiées pour le Sénégal et pour le Tchad. On peut donc en conclure que l'inventaire des sols est actuellement très avancé et que les travaux de cartographie pédologique qui manquent encore, concernent surtout certaines grandes régions comme le Mali, où seuls le delta central et la haute vallée du Niger ont été systématiquement étudiés et certains secteurs compris dans le cadre d'opérations de mise en valeur en projet.

## La caractérisation du milieu

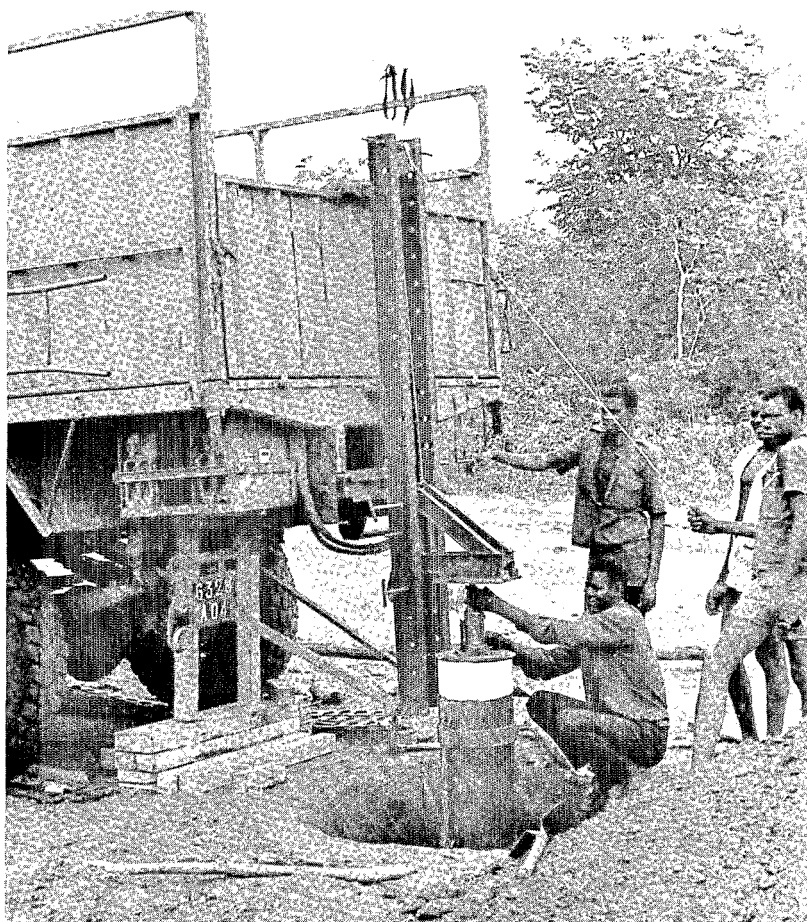
La caractérisation du milieu a été réalisée par des botanistes et des géomorphologues. Les études botaniques ont été nettement moins importantes dans l'Afrique « sèche » que dans l'Afrique « humide » à climat forestier. Elles ont généralement été entreprises soit en complément de cartographies pédologiques, soit dans le cadre de la caractérisation de divers milieux écologiques. C'est par exemple le cas de la zone sahélienne étudiée dans le Nord du Sénégal et du Tchad.

Les recherches géomorphologiques se sont développées rapidement depuis quelques années, et leurs résultats complètent ceux des pédologues qui ont abordé les problèmes des mécanismes de la différenciation et de l'évolution des sols.

## L'étude des mécanismes

La caractérisation sur le plan physico-chimique et biologique des sols inventoriés a fourni les bases pour les recherches sur la différenciation et l'évolution des sols. Les chercheurs se sont efforcés, et s'efforcent, de déterminer les mécanismes de cette évolution, et en particulier :

- la dynamique des sols salés du Tchad où les sols de polders ont été très étudiés ; leur mise en valeur sera facilitée par les premiers résultats obtenus ;
- les mouvements de l'eau dans les sols (Tchad, Sénégal), en vue de préciser le bilan hydrique et l'eau utile pour les plantes cultivées ;



Centre ORSTOM de Fort-Lamy.  
Etude de la dynamique  
de l'eau dans les sols :  
mise en place d'un lysimètre.

(Photo ORSTOM).

- les mécanismes de différenciation des sols et leurs relations avec les données écologiques. Des résultats originaux ont été obtenus au Tchad, en particulier sur la dynamique des ions dans les unités géodynamiques des paysages. Il devrait en résulter une meilleure connaissance des équilibres naturels dont l'instabilité croît sensiblement au fur et à mesure que les conditions climatiques deviennent plus sévères. A ce sujet, il faut également signaler certains travaux reliant les cycles sédimentaires et pédologiques aux variations climatiques importantes qui ont affecté l'Afrique au sud du Sahara au quaternaire ;
- les problèmes de caractérisation et de répartition de la matière organique et de l'humus, en particulier dans les sols isohumiques des régions subarides ;
- les phénomènes d'érosion et de lessivage vertical et oblique dans les sols. Des travaux importants, implantés en Côte-d'Ivoire, utilisant des dispositifs expérimentaux (lysimètres, simulateur de pluies) sont actuellement en cours de développement dans l'Afrique « sèche » (Haute-Volta). Malgré leur importance sur le plan pratique dans des régions où les phénomènes d'érosion par ruissellement sont préoccupants, ces recherches sont actuellement retardées par insuffisance de moyens.

### **L'étude microbiologique des sols**

Dès 1955, des recherches en microbiologie du sol ont été engagées par l'O.R.S.T.O.M. dans la zone tropicale sèche de l'Ouest Africain à partir du Centre de Dakar. Elles n'ont pas été interrompue depuis cette date et ont même pris récemment une grande extension grâce à la création d'un grand laboratoire de Biologie des sols à Dakar-Bel-Air et au renforcement de l'équipe de microbiologistes.

Les travaux effectués peuvent schématiquement être scindés en deux phases :

Dans une première phase, les microbiologistes se sont surtout attachés aux applications agronomiques et pédologiques :

- activité microbiologique globale et densité des divers germes telluriques en fonction des types de sols, de leur richesse minérale et organique, des saisons ;
- influence des traitements de défrichement et de mise en valeur (feux, paillis) ;
- nature de la microflore des divers sols, répartition des fixateurs d'azote atmosphérique.

Dans une deuxième phase, d'ailleurs difficile à séparer nettement de la première qu'elle recouvre plus ou moins, l'effort se concentre sur l'étude approfondie des mécanismes microbiens liés à des problèmes importants quant au développement de la mise en valeur des sols ou à son intensification.

Les thèmes de recherches retenus concernent certains aspects des cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et du soufre comme processus :

- de fixation d'azote atmosphérique, symbiotique (légumineuses) ou non symbiotique ;
- de dénitrification ;
- d'oxydation et de réduction du soufre.

Les résultats déjà obtenus mettent en évidence que les conditions climatiques de la zone ouest-africaine étudiée confèrent aux activités microbiologiques un impact plus marqué qu'en climat tempéré.

### **LES RECHERCHES SUR LES PROBLEMES DE L'EAU**

Les recherches effectuées depuis 25 ans sur les problèmes de l'eau ont été réalisées essentiellement par les hydrologues, secondairement par les pédologues et les géophysiciens. Il s'y ajoute les travaux des agro-climatologistes, pour lesquels le bilan de l'eau est un aspect primordial.

L'énumération succincte des résultats acquis dans la zone sèche et des études en cours est la suivante :

## **Les annuaires hydrologiques**

L'exploitation des réseaux hydrométriques destinés à recueillir systématiquement des données de base sur les régimes des cours d'eau principaux ou typiques, est une activité de base du Service Hydrologique depuis sa création. Cette exploitation est assurée par l'O.R.S.T.O.M. soit directement, soit en tant que conseiller des Administrations intéressées. Elle conduit à la publication régulière, depuis 1949, des *Annuaire Hydrologiques* (ou *Annales*) de l'O.R.S.T.O.M. où sont contenus les débits journaliers d'environ soixante-dix stations d'Afrique Noire, intéressant notamment les zones tropicales arides et de pluviométrie inférieure à 1.100 mm/an. L'O.R.S.T.O.M. participe également à la publication d'annuaires propres à chacun des Etats d'Afrique Noire francophone.

## **Les monographies hydrologiques**

Le but d'une monographie est de rassembler toute l'information hydrologique d'un grand bassin fluvial sous une forme directement utilisable pour tous les projets d'aménagement : ponts routiers, amélioration de la navigation, protection contre les crues, projets hydroagricoles ou hydroélectriques, adductions d'eau, etc. Quatre monographies ont été établies par l'O.R.S.T.O.M. Elles concernent les bassins du Sénégal, du Niger, du Logone et du Chari.

Chaque monographie comprend quatre grandes parties :

- Facteurs conditionnels du régime hydrologique : Description géographique du bassin versant, étude du relief, du réseau hydrographique, du sol, de la végétation et des facteurs climatiques, tout particulièrement des précipitations ;
- Hydrométrie : Inventaire complet et historique de l'équipement hydrométrique du bassin versant (échelles, limnigraphe, stations de jaugeage). Une analyse critique minutieuse est souvent nécessaire pour valoriser des relevés anciens (remontant par exemple jusqu'au début du siècle) qui sont précieux pour caractériser les variations à long terme du régime, mais dont le niveau de référence (zéro d'échelle) a pu subir des modifications successives ;
- Régime hydrologique : Analyse et étude statistique des éléments du régime : débits mensuels, débits annuels, débits classés, crues et étiages ; corrélations hydropluviométriques, bilan d'écoulement ; interprétation synthétique de l'influence des différents facteurs conditionnels ;
- Recueil de données numériques : Relevés complet des hauteurs d'eau ou des débits journaliers enregistrés à toutes les stations hydrométriques.

Le lac Tchad a été l'objet d'une monographie d'un type particulier, à la préparation de laquelle ont participé non seulement des hydrologues mais d'autres chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. : climatologues, géologues, pédologues, sédimentologues, hydro-géologues, hydro-biologistes, botanistes et chimistes. A l'étude proprement hydrologique des variations de niveau et du bilan du lac a été ainsi associée une étude du milieu naturel plus poussée que dans les monographies habituelles. Cette étude pluridisciplinaire fait l'objet d'un chapitre à part (cf. p. 23).

## **Les bassins représentatifs (ou « expérimentaux »)**

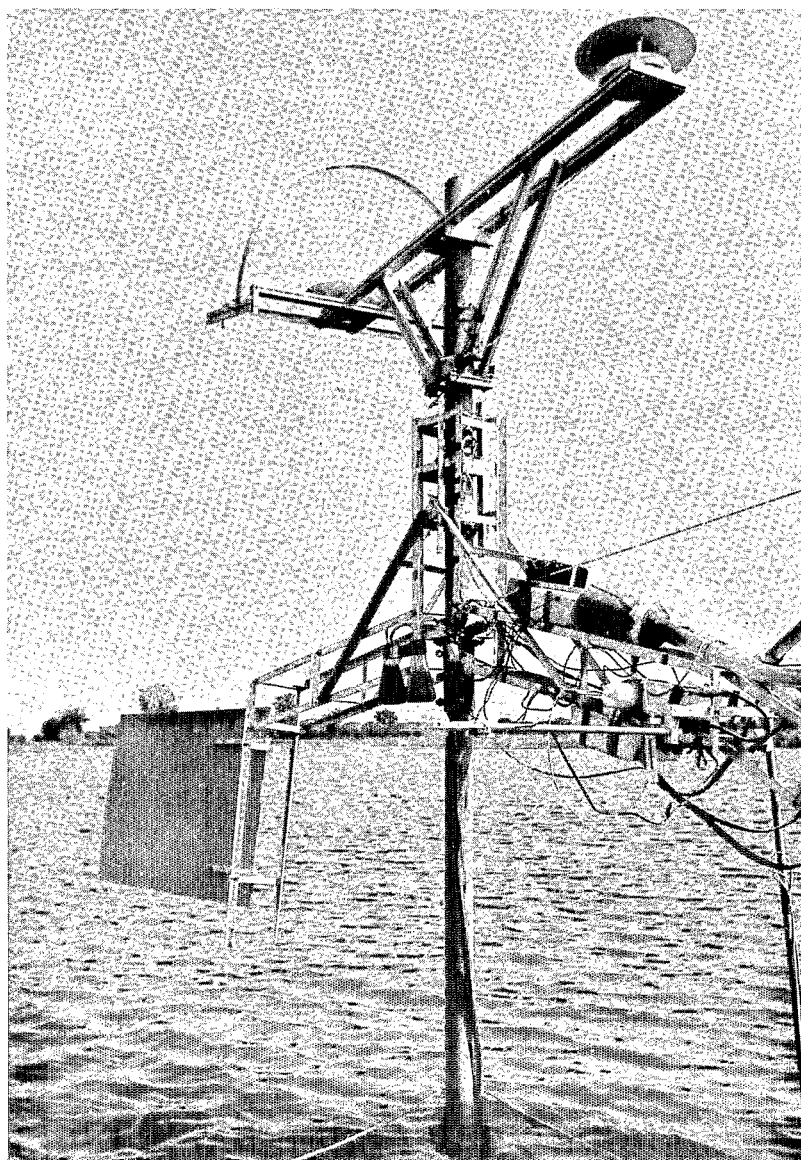
Lorsque les données hydrologiques font défaut et qu'elles sont pourtant nécessaires à bref délai pour un projet de développement quelconque, l'hydrologue fait appel à la technique des bassins représentatifs. L'étude approfondie des phénomènes de ruissellement et des relations pluies-débits sur un bassin de faible superficie permet de fructueuses extrapolations pour des bassins plus importants en utilisant les archives pluviométriques.

L'O.R.S.T.O.M. a implanté cent dix bassins représentatifs ou expérimentaux. Un tiers d'entre eux se situent dans la zone tropicale aride.

L'étude du ruissellement sur un bassin représentatif comporte, outre la mesure des débits, la détermination des facteurs physiques propres au bassin versant (relief, sol, végétation) et des facteurs climatiques (pluie, évaporation). Les études de terrain intensives s'étendent généralement sur trois ans. Dans le cas de petits bassins versants (de 10 à 50 km<sup>2</sup>), les résultats obtenus permettent de déterminer les caractéristiques hydrologiques de cours d'eau sur lesquels n'existe aucune station hydrométrique observée depuis assez longtemps pour utiliser les méthodes statistiques classiques.

### Les études hydrométéorologiques

L'« Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale » concerne en particulier le Sénégal, la Mauritanie, le Mali, la Haute-Volta, le Niger et le Tchad. Elle donne pour les principaux postes d'observa-



*Dispositif de mesure  
de l'évaporation  
du lac de BAM (Haute Volta)  
Cliché ORSTOM (Pouyaud).*

tions, les hauteurs de précipitations journalières correspondant à diverses fréquences, ainsi que des courbes intensités-durées et des hyétogrammes-types.

L' « Etude de l'évaporation en Afrique centrale » est le résultat de près de dix années de recherches menées principalement au Tchad, puis en RCA et au Congo. Une grande importance a été accordée à la méthodologie des mesures pour clarifier la signification des résultats obtenus et en tirer des conclusions pratiques. La détermination de l'évapotranspiration réelle dans de grandes zones climatiques à partir de résultats de mesures ponctuelles a été étudiée de façon détaillée et vérifiée globalement par comparaison avec les déficits d'écoulement hydrologique. Une importante étude d'évaporation concernant le lac de Bam en HauteVolta est en cours d'exécution.

### **Les études d'agroclimatologie**

Les premières études effectuées par l'O.R.S.T.O.M. ont visé à proposer des solutions aux deux problèmes essentiels de l'agroclimatologie tropicale :

- La définition, en position/durée/fréquence, de la période physique de végétation, critère des possibilités de « développement » des cultures ;
- La détermination à tout instant et la prévision probabiliste, au cours de cette même période, des termes du bilan hydrique dont résulte l'évapotranspiration réelle, qui conditionne elle-même la « croissance » des cultures.

La position/durée/fréquence de la période de végétation a été caractérisée selon deux voies parfaitement opérationnelle désormais : la méthode des intersections et la méthode d'analyse fréquentielle des pluies, en rapport avec l'évapotranspiration potentielle (ETP), selon un modèle particulièrement flexible élaboré et programmé par l'O.R.S.T.O.M., qui nécessite le recours à l'ordinateur (360/50 au minimum). Ces deux voies débouchent sur un même « modèle d'expression fréquentielle de la période de végétation ». Une application majeure, parmi d'autres, consiste dans l'ajustement statistique aux conditions hydriques des cycles de développement des cultures, les conditions énergétiques pouvant aussi être intégrées au modèle si nécessaire.

Bien que valables pour toute la zone intertropicale, ces deux méthodes s'adressent avant tout aux zones sahéliennes et soudano-sahéliennes (subaride et semiaride, grossièrement, en termes d'agroclimat) où les ressources hydriques sont marginales.

L'étude du « Bilan hydrique » a été menée en culture pluviale et en culture irriguée. En culture pluviale, un programme de calcul d'ETP-Penman à coefficients variables est opérationnel depuis plusieurs années, tandis qu'un modèle d'analyse fréquentielle du déficit hydrique est en cours d'élaboration. En culture irriguée, les travaux d'hydrométéorologie cités plus haut vont permettre la valorisation du réseau de bacs Colorado-ORSTOM mis en place en Afrique.

Ces différents résultats sont cependant encore insuffisants pour les utilisateurs. Aussi l'O.R.S.T.O.M. se propose de produire un modèle d'analyse fréquentielle des séquences sèches et espère que tous les modèles précédents pourront ensuite être inclus dans des modèles de simulation proprement dits conçus pour résoudre tout problème particulier en rapport avec la mise en valeur.

### **Les ouvrages de synthèses**

L'ouvrage sur « Les régimes hydrologiques d'Afrique noire » constitue une synthèse des résultats acquis en 1964. Il propose une classification des régimes tropicaux et équatoriaux et donne de nombreuses valeurs numé-

riques des principales caractéristiques hydrologiques notamment pour les zones subdésertiques, sahéliennes et tropicales pures.

Une autre publication de l'O.R.S.T.O.M., intitulée l' « Estimation des débits de crues décennales pour les bassins de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique occidentale », est une première synthèse des résultats obtenus sur les bassins représentatifs en ce qui concerne les crues. Mais une synthèse complète a été entreprise et a débuté par la publication d'un « Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux ».

Enfin, il faut signaler que les relevés pluviométriques journaliers ont été transcrits sur cartes perforées, après critique de leur validité, pour toute la zone sèche de l'Afrique.

### **Les études hydrologiques particulières**

Un certain nombre d'études ont été réalisées ou sont en cours. Il s'agit soit de travaux présentant un caractère extensif et plus ou moins sommaire (reconnaissance hydrologique dans le massif du Tibesti, par exemple), soit d'études liées à des phénomènes particuliers (modification du régime des crues du Niger moyen depuis 1961, par exemple), soit encore d'études effectuées spécialement pour des projets d'aménagement (axes routiers, problèmes de navigation, etc.).

Enfin, il faut souligner la réalisation d'opérations particulières axées sur divers thèmes tels que : salinité et qualité des eaux, érosion, sédimentation et transports solides, inféoflux. Il faut y ajouter certains travaux, en particulier au Tchad, qui ont eu pour but essentiel la localisation de nappes phréatiques par les méthodes de géophysique.

### **LES RECHERCHES GEOLOGIQUES**

Elles ont été entreprises, en ce qui concerne l'Afrique « sèche » au sud du Sahara, dans les pays suivants : Sénégal, Haute-Volta, Tchad. Les résultats publiés sont encore peu nombreux au Sénégal et en Haute-Volta, car les travaux de terrain sont à peine terminés.

Les recherches conduites au Sénégal et en Haute-Volta concernent l'étude comparative des processus d'altération des différents faciès de roches acides, basiques et ultrabasiques en fonction des facteurs climatiques et topographiques.

#### **L'étude de l'altération des roches cristallines acides au Sénégal Oriental**

Les principaux aspects abordés concernent :

- L'altération des roches acides qui constitue la base des travaux ;
- La migration des éléments traces, granitophyles, dans les profils, les sols et les cuirasses, dont le cuivre qui constitue une fraction intéressante par l'importance des teneurs moyennes et les perspectives d'exploitation et qui est étudiée en tant que processus d'enrichissement ou d'appauvrissement ou en tant que facteur conditionnant les limites de la prospection géochimique tactique ;
- La dynamique des éléments dans les nappes phréatiques ;
- La détermination des profondeurs et de la nature des matériaux et des nappes, grâce à l'utilisation des méthodes de géophysique.

## **L'étude de l'altération des roches basiques et ultrabasiques de Haute-Volta**

Les principaux points étudiés sont : la migration des éléments, la genèse d'épais manteaux montmorillonitiques sur lesquels se sont développés des vertisols riches en argiles gonflantes, les relations entre les niveaux cuirassés et le substratum, enfin la répartition des paléoprofils et des profils actuels.

## **L'étude de l'altération des roches éruptives basiques et ultrabasiques du Sénégal Oriental**

D'importantes conclusions ont été dégagées sur :

- Les modifications de structure des roches provoquées par l'altération de minéraux ferro-magnésiens et plagioclases ;
- La répartition des éléments traces dans les faciès altérés ;
- La dynamique des éléments dans la phase eau et leurs rapports avec la roche-hôte ;
- La caractérisation de l'évolution géochimique des profils obéissant à un modèle exponentiel fonction de leur distance à la roche saine.

Ces études permettent de définir les grands processus actuels et anciens d'altération météorique en zone tropicale sèche. L'un des principaux intérêts des bilans géochimiques au cours des phénomènes d'altération supergène est de conduire à l'établissement de lois prévisionnelles pour la prospection minière et pour l'agronomie (oligo-éléments).

Les recherches effectuées au Tchad rentrent en grande partie dans le cadre d'une opération concertée multidisciplinaire. Ce programme a pour but la reconstitution de l'histoire récente d'un grand bassin continental. Les recherches sont orientées dans les deux directions complémentaires suivantes :

- L'étude de l'évolution des paysages au cours d'un passé récent à l'échelle du millénaire ou de la centaine de milliers d'années. Cette évolution est intimement liée, d'une part, aux changements climatiques, et d'autre part, au mouvement de subsidence ou de soulèvement ;
- L'étude des paysages actuels et de leur dynamique à l'échelle de l'année ou de la décade.

Ces deux directions de recherches se complètent et s'éclairent mutuellement.

L'histoire récente d'un bassin continental doit réunir toutes les données intéressant les eaux, en tant que véhicule des substances figurées ou dissoutes, le devenir des ions dans le paysage, l'évolution des paysages végétaux, les sols, la géomorphologie, les sédiments, la néotectonique et la préhistoire. C'est ce qui a conduit l'O.R.S.T.O.M. à entreprendre une vaste opération pluridisciplinaire qui fait l'objet d'une présentation particulière [cf. p. 21].

## **LES RECHERCHES DE GEOPHYSIQUE**

L'O.R.S.T.O.M. s'est surtout occupé de l'étude géophysique du globe solide ainsi que des aspects typiquement équatoriaux des variations du champ magnétique qui, étant sous la dépendance de la haute atmosphère, sont en général moins strictement localisés. La cartographie de ces champs géophysiques — gravimétriques ou magnétiques — fournit des informations qui guident et éclairent la compréhension de la structure géologique régionale ; il était donc dans la vocation de l'Office, à titre de contribution aux connaissances de base nécessaires pour le développement des pays où s'exerce son activité, de faire une place importante à cette cartographie géophysique. Celle-ci a comporté, en particulier, des levés gravimétriques qui ont abouti à la publication de cartes gravimétriques au 1/1.000.000 couvrant la Mauritanie, le Sénégal, le Niger, le Mali, la



Haute-Volta, le Tchad et le Cameroun. Pour la carte magnétique, les mesures, en des stations moins nombreuses, permettent de dresser la carte de la déclinaison indispensable à la navigation aérienne et de suivre les variations générales du champ ; mais la carte magnétique détaillée qui fournit des informations très précises sur la structure géologique, doit aujourd'hui être levée par avion. C'est une technique qui échappe actuellement aux moyens de l'O.R.S.T.O.M. et qui est mise en œuvre par d'autres organismes, dans le cadre des prospections minières ou géologiques.

Si la cartographie géophysique systématique fournit une indication sur les grandes lignes de la structure, on doit souvent faire appel aux techniques de la géophysique appliquée pour préciser des structures de détail. Bien que les centres de l'O.R.S.T.O.M. ne disposent pas de moyens comparables à ceux des entreprises de prospection géophysique, qui seraient nécessaire pour effectuer des campagnes étendues et prolongées, ils ont eu souvent l'occasion de mettre leur compétence à la disposition des autorités locales, pour effectuer des prospections limitées ou mettre au point des méthodes ; ces prospections ont fait appel aux méthodes électriques, magnétiques ou gravimétriques et elles ont eu pour objet des recherches d'eau, de matériaux de construction ou de minerais.

La création des Centres géophysiques de l'O.R.S.T.O.M. impliquait une option fondamentale : on aurait pu concevoir des points d'observation, comparables à ceux qui fonctionnent actuellement aux Kerguelen ou en Terre Adélie, avec le personnel strictement indispensable à la maintenance, le dépouillement et l'exploitation étant assurés par les centres métropolitains. On a tenu, au contraire, à créer des centres étoffés, qui soient des foyers de recherches en même temps que des observatoires, et la base des expéditions de cartographie géophysique. Ces observatoires permanents (magnétiques et sismologiques de M'Bour au Sénégal, et Bangui en RCA) contribuent, par la communication régulière des observations aux « Centres mondiaux de données », à la recherche scientifique internationale sur la nature des phénomènes qui affectent le globe terrestre.

Les retombées de ces recherches sont d'une importance fondamentale pour le développement des régions africaines déshéritées sur le plan climatique, car elles fournissent des données de base pour l'évaluation des ressources en eaux des nappes profondes, ainsi que parallèlement pour la prospection minière.

## MECANISMES ET CONTRAINTES DE LA PRODUCTION

### LES RECHERCHES EN BIOLOGIE VEGETALE ET ANIMALE

Les recherches entreprises par l'O.R.S.T.O.M. dans l'Afrique francophone « sèche » ont été relativement limitées par rapport à celles effectuées ou en cours dans les régions tropicales humides du continent. Il faut cependant signaler les travaux des généticiens, des zoologistes, des écologistes, de nématologistes et des hydrobiologistes.

#### Génétique végétale

Le mil (*Pennisetum typhoides*) est à la base de l'alimentation humaine dans la zone sahélienne, et l'on estime qu'il y aurait environ 10 millions d'hectares consacrés annuellement à cette culture. Un programme de recherche conjoint ORSTOM-IRAT, financé par le Fonds Européen de Développement est en cours de réalisation. Son objectif est de transformer la structure morphologique des mils actuels pour en faire des plantes dont le rapport grain/paille se rapprocherait davantage de celui d'une céréale typique telle que le blé. Les chercheurs

ont l'espoir de dépasser largement le seuil maximum actuel de 3 tonnes/hectare pour atteindre un plafond de l'ordre de 7 tonnes/hectare. Cette amélioration devrait en premier lieu conduire à des hauts rendements en grain, ce qui permettrait d'améliorer considérablement les ressources alimentaires de l'Afrique « sèche ». Mais elle devrait également avoir pour effet de rentabiliser, d'une part les réserves en eaux du sol, et d'autre part, les engrais dont une bonne partie est gaspillée actuellement pour fabriquer un surcroît de matière sèche inutile.

## **Zoologie - Ecologie animale**

Plusieurs programmes de recherche entrepris par des zoologistes de l'O.R.S.T.O.M. ont un rapport étroit avec le développement de l'agriculture de l'Afrique « sèche ». La plupart d'entre eux ont été entrepris dans la région sahélienne sénégal-mauritanienne et dans le cadre de l'étude d'un écosystème terrestre.

Les problèmes de l'avifaune, en particulier ceux des espèces consommatrices de graines, sont étudiés depuis de nombreuses années. On connaît, en effet, l'importance que peuvent avoir certaines espèces, comme les mange-mils, dans la destruction des récoltes de riz. Ces destructions deviennent, en effet, catastrophiques lorsque les conditions climatiques conduisent à une sécheresse et à une raréfaction des ressources alimentaires pour les oiseaux sédentaires ou migrants.

Les rongeurs peuvent également provoquer des dégâts sensibles dans certaines récoltes. Mais pour l'instant, leur étude a surtout été abordée dans le cadre de l'épidémiologie, compte tenu de l'importance de certaines maladies graves (fièvre jaune, pasteurellose) transmises par des virus transitant souvent sur des hôtes intermédiaires.

## **Nématologie**

Un inventaire des nématodes phytoparasites avait été réalisé dans les régions tropicales humides. Une étude du même ordre a été entamée en 1970 dans les régions sénégalaises, mauritaniennes et voltaïques de l'Afrique « sèche ». Elle a pour objectif la détection des principales affections à nématodes touchant les plantes de grande culture. Pour l'instant, il s'agit essentiellement du riz, de l'arachide, du sorgho, du maïs et des cultures maraîchères. En ce qui concerne ces dernières les dégâts de nématodes sont en effet variables, souvent sous-estimés, et un programme de recherches est en cours dans le cadre d'un projet dont l'O.A.A. (FAO) est l'agence exécutive.

## **Hydrobiologie**

Les recherches de l'O.R.S.T.O.M. dans le domaine de l'hydrobiologie ont débuté en 1965 au Tchad. Elles ont été très vite intégrées dans le cadre de l'opération multidisciplinaire qui sera présentée plus loin.

## **LES RECHERCHES EN ENTOMOLOGIE MEDICALE**

De très nombreuses recherches sur les maladies humaines transmises par les insectes ont été effectuées par l'O.R.S.T.O.M. dans l'Afrique « sèche » au sud du Sahara, en particulier à partir des Centres de Bobo-Dioulasso (mission O.C.C.G.E.) et de Dakar. Les objectifs scientifiques étaient multiples, mais il est très vite

apparu que les aspects strictement humains des opérations n'étaient pas les seuls à envisager, car les maladies à vecteurs ont de nombreuses incidences sur le développement économique. En particulier, ce dernier est entravé par plusieurs endémies qui s'opposent à la mise en valeur des terres cultivables ou diminuent la capacité au travail des habitants. Ce sont essentiellement l'Onchocercose, les Trypanosomiasés, le Paludisme, la Filariose de Bancroft et à un degré moindre les arboviroses, les rickettsioses, les pasteurelloses. Les bilharzioses et la dracunculose qui passent par des hôtes intermédiaires invertébrés, se rattachent épidémiologiquement aux maladies à vecteurs.

Le développement du pays, la construction de barrages et des systèmes d'irrigation, modifient les conditions naturelles et peuvent soit amplifier certaines endémies en favorisant la multiplication des vecteurs ou des hôtes intermédiaires soit au contraire, réduire leur incidence.

### **Onchocercose**

Dans les zones soudaniennes et guinéennes, les vallées, généralement plus fertiles, sont désertées par suite de la présence de l'onchocercose qui provoque la cécité d'une partie importante de la population soumise à l'attaque des Simulies. Les larves de ces diptères, vecteurs de l'onchocercose, se développent dans les eaux courantes dont la vitesse est comprise entre 0,70 et 1,20 m/s. Des gîtes peuvent s'implanter même dans des cours d'eau temporaires en saison d'écoulement. Actuellement, dans la zone dite « sèche » sont touchés par cette endémie : les bassins supérieurs du Sénégal et de la Gambie, le bassin supérieur du Niger et de la plupart de ses affluents de la rive droite, le bassin des Volta dans sa presque totalité, les cours d'eau du Nord Togo et du Nord Dahomey, le bassin supérieur de la Bénoué ; la situation demande à être précisée au Tchad dans les bassins du Logone et du Chari.

L'importance économique de la maladie est telle que les autorités des Nations Unies ont considéré que le développement du bassin des Volta était subordonné à l'éradication de l'onchocercose par destruction du vecteur. Un projet régional est en cours de préparation avec le concours des entomologistes de l'O.R.S.T.O.M. Il intéressera le Mali, la Côte-d'Ivoire, la Haute-Volta, le Ghana, le Niger, le Togo et le Dahomey. La lutte contre les simulies est basée sur l'épandage d'insecticides organophosphorés sélectifs par avions et hélicoptères. La création de grands barrages, régularisant le cours des rivières, fait disparaître les gîtes dans le bassin de retenue, et a une action généralement bénéfique, mais les petits barrages ruraux à faible retenue amènent fréquemment la création de gîtes au niveau des déversoirs dans des régions où quelquefois le vecteur était absent.

### **Trypanosomiasés**

Les glossines se trouvent dans la plupart des galeries forestières de la zone soudanienne où elles maintiennent quelques foyers résiduels de maladies du sommeil et une enzootie de trypanosomiasés animales. Les populations implantées dans ces zones sont soumises au risque de trypanosomiasé et le Projet Régional prévoit également la possibilité d'une lutte contre les glossines. Mais le défrichement des galeries qui résultera du peuplement des terres riveraines amènera une réduction voire une disparition des insectes. Cette méthode est bien connue sous le nom de prophylaxie agronomique. La persistance de microfoyers reste toutefois dangereuse car le contact homme-glossine est augmenté et des épidémies de maladie du sommeil peuvent survenir dans des zones où il y a très peu de mouches.

### **Paludisme**

Le paludisme est holoendémique en zone soudanienne, hyper ou mésoendémique en zone sahélienne. Dans le premier cas, il provoque une mortalité infantile importante (20 % de décès des enfants) mais a peu d'inci-



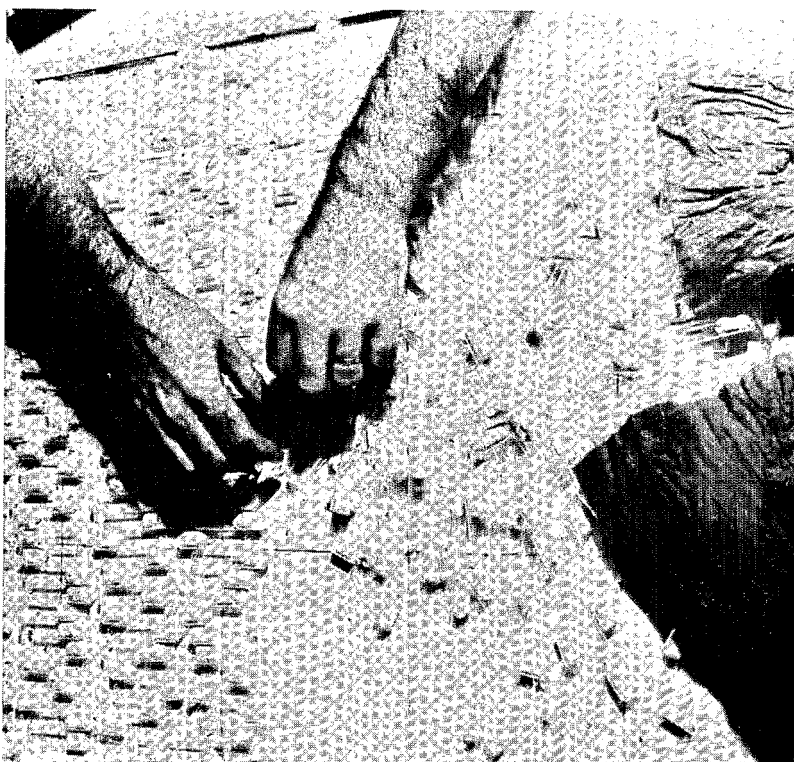
Entomologie médicale.  
Siphonnage d'un trou d'arbre  
pour recherche de larves.

(Photo ORSTOM).

dence sur les adultes ruraux qui sont en état de semi-immunité. Le développement rural ne saurait changer directement l'impact d'une maladie « à saturation » s'il n'est pas accompagné de mesures sanitaires. En zone sahélienne, la création de plans d'eau peut augmenter la surface des gîtes larvaires des anophèles vecteurs, et surtout la durée de la saison de transmission pour aboutir à une situation holoendémique. L'échec des campagnes d'éradication du paludisme en Afrique a découragé les promoteurs de la lutte anti-paludique qui s'orientent vers des mesures d'intérêt local basées sur la chimiothérapie, la chimioprophylaxie, ou l'assainissement d'une efficacité très illusoire en zone rurale. Actuellement, le développement des zones sèches ne peut s'envisager qu'en s'accommodant de la présence de paludisme puisque les moyens de l'éradiquer font défaut, mais cette endémie ne constitue probablement pas un obstacle insurmontable au démarrage du développement. Réciproquement, la mise en valeur ne changera la situation de l'endémie palustre que dans certains cas particuliers liés à des aménagements hydrauliques surtout en zone sahélienne.

### Filariose de Bancroft

La filariose de Bancroft a, en Afrique de l'Ouest, les mêmes vecteurs que le paludisme. *Anopheles gambiae* s.l.



*Entomologie médicale.  
Triage préliminaire  
pour séparer les mâles des femelles.  
Dans chaque tube, un moustique.*

*(Photo ORSTOM).*

et *An. funestus*, mais les foyers de cette affection sont liés à la présence d'un très grand nombre de vecteurs pendant la majeure partie de l'année.

L'irrigation, la riziculture, les bassins de retenue peuvent augmenter la surface et la durée des gîtes larvaires anophéliens au point de créer de nouveaux foyers de cette maladie incapacitante. Actuellement, il existe déjà quelques foyers dans la frange sud de la zone sahélienne (par exemple, foyer de Dori, Haute-Volta), ils sont plus nombreux en zone de savane soudanienne (par exemple : foyer de Koupéla et de la Vallée du Sourou en Haute-Volta ; foyer de l'Office du Niger au Mali).

## **Fièvre jaune**

La potentialité des épidémies de fièvre jaune en zone sèche est liée à la présence de gîtes à *Aedes aegypti* au niveau des agglomérations. Ces gîtes sont constitués soit par les eaux de boisson en toutes saisons, soit par des récipients abandonnés (pots, pneus, caibasses, etc.) en saison des pluies. Le développement en amenant des produits de consommation accroît le nombre des gîtes du deuxième type alors qu'il peut faciliter les approvisionnements en eau et diminuer son stockage domiciliaire. La vaccination a espacé les épidémies et minimisé leur portée. Depuis 1960, deux épisodes épidémiques seulement ont été enregistrés, en 1965 à Diourbel au Sénégal et en 1969 en Haute-Volta, Ghana, Mali et Nigéria. L'éducation sanitaire pourrait jouer un très grand rôle dans l'élimination des sources du vecteur péridomestique qui peut par ailleurs être aisément contrôlé par des insecticides pratiquement sans toxicité.

## Bilharzioses

Avec une prévalence plus ou moins grande, les bilharzioses affectent toute la zone sèche du sud du Sahara, avec de nombreux foyers hyperendémiques. La création de barrages et systèmes d'irrigation s'accompagne généralement de l'extension de la maladie, voire de son implantation dans de nouvelles aires. Certains auteurs ont même pu écrire que le développement agricole de l'Afrique passait par la bilharziose. C'est un domaine où les études sont beaucoup plus fragmentaires que pour les maladies à vecteurs. Un grand effort de recherche est nécessaire tant sur le plan épidémiologique que malacologique. La lutte contre les hôtes intermédiaires, *Bullins* et *Planorbes*, par des molluscocides chimiques, assez polluants, est d'une portée très limitée actuellement pour la lutte contre cette endémie.

## Dracunculose

La dracunculose provoquée par la filaire de Médine est un problème mineur généralement localisé dans des foyers bien limités en zone sèche. La contamination se fait par l'ingestion de *Cyclops* parasités par des embryons de filaire, libérés ultérieurement dans le tube digestif. Le ver adulte perce ensuite la peau au niveau des jambes pour pondre ; c'est à ce moment qu'il est retiré par enroulement sur bâtonnet. La maladie est très incapacitante pendant la saison des cultures. Il suffirait d'une éducation sanitaire élémentaire et d'améliorer le ravitaillement en eau potable pour voir disparaître cette parasitose.

## LES RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DANS LES EAUX MAURITANIENNES ET SENEGALAISES

Seuls le Sénégal et la Mauritanie ont une façade maritime sur l'Océan Atlantique. L'O.R.S.T.O.M. n'a jamais agi directement en Mauritanie, mais un certain nombre de travaux ont été faits au large de ses côtes à partir de Dakar avec les moyens navigants de ce laboratoire et depuis 1971 avec le « CAPRICORNE » basé à Abidjan.

Par contre, la convention de 1960 confiant la gestion du Centre sénégalais de Thiaroye à l'O.R.S.T.O.M. a permis une activité très importante à partir de ce Centre dans la région sénégal-mauritanienne. L'équipe d'océanographes du Centre y agit avec les moyens navigants locaux, mais aussi avec le « CAPRICORNE », en coopération avec des océanographes d'Abidjan et même de Pointe-Noire.

Du point de vue de la production marine, la côte Ouest Africaine se divise en trois régions. Au nord, le grand ensemble écologique comprenant le Maroc, la Mauritanie et le Sénégal constitue une zone de très grande production ; au centre, de la Guinée au Congo, se trouvent les pays importateurs peu pourvus de ressources marines ; enfin au sud, se situe un autre grand ensemble producteur, symétrique de la côte du Nord-Ouest Africain.

Jusqu'en 1972, la région sénégal-mauritanienne était à peu près exclusivement exploitée par des flottes étrangères où la France avait une faible part et dont les Etats riverains ne bénéficiaient pas. Depuis que ces Etats ont pris des mesures d'extension de leurs zones de pêche réservée, une situation nouvelle est créée dont l'aboutissement devrait constituer un enrichissement important des riverains soit par royalties, soit par implantations d'industries, outre un développement des flottilles de pêche basées dans les ports locaux.

Les recherches entreprises dans la région par l'O.R.S.T.O.M., déterminées en accord étroit avec les autorités locales et prenant en considération les aspects économiques et leurs perspectives de développement, ont visé deux objectifs :

- La description et l'analyse des zones de haute productivité,
- La délimitation et l'étude quantitative des stocks, avec comme étape ultime, la rationalisation de leur exploitation.

Le premier objectif est largement cerné par un effort international dans lequel la France, avec le « CAPRICORNE » et les équipes O.R.S.T.O.M., a pris une large part et continue actuellement d'agir.

Le deuxième objectif, qui a vu l'intervention de l'O.A.A. (F.A.O.) pour l'étude des poissons de surface des eaux sénégalaises, est déjà réalisé en partie grâce aux travaux poursuivis par l'équipe de l'O.R.S.T.O.M. qui a en charge le laboratoire de Dakar-Thiaroye.

Pour l'ensemble de l'Océan Atlantique, les travaux de l'O.R.S.T.O.M. ont permis d'évaluer les stocks de thons exploitables, ce qui a servi de base à une première réglementation internationale. Le Sénégal est directement concerné par cette étude du fait qu'il possède une flottille de pêche thonière.

Pour les eaux sénégalaises et en partie pour les eaux mauritaniennes, la situation est la suivante :

- Les stocks de poissons de chalut sont actuellement évalués. Ils font l'objet d'études plus fines qui permettront d'ici cinq ans maximum de déterminer le niveau d'exploitation optimum de chaque espèce et les réglementations afférentes ;
- Les stocks de crevettes côtières sont déterminés et l'effort de pêche optimum (nombre de bateaux admissibles) est connu ;
- Les stocks de poissons pélagiques côtiers sont en cours d'étude, les premiers résultats quantitatifs acceptables sont acquis pour deux espèces de Sardinelles.

L'effort actuel porte sur les autres espèces pélagiques. Un premier travail d'estimation vient d'être fait par le « CAPRICORNE », par des procédés de sondage (écho-intégrateur). Sans pouvoir être pris pour l'instant en considération, une prospection sommaire n'étant que le prélude d'une longue étude indispensable, les chiffres provisoires obtenus sont de 2,5 millions de tonnes de petits pélagiques pour le seul Sénégal. Il faut noter que ce chiffre très grossier ne permet pas de déterminer quelle part d'un tel stock pourrait être prise annuellement.

Pour résumer, on peut prévoir que la région sénégal-mauritanienne pourrait dans un avenir proche détourner vers ses ports une part importante des pêches actuellement faites par les pays étrangers à la région, prises qui ne sont pas statistiquement connues actuellement mais qui vont l'être grâce à l'extension des zones de pêche réservée. De ce fait, un développement considérable des ports sénégalais et mauritaniens paraît possible, entraînant des possibilités nouvelles de consommation intérieure, de transformation, d'exportation. A l'évidence l'extension d'un effort de recherche tel qu'il est actuellement poursuivi s'impose en prévision de ce développement.

## LES RECHERCHES SUR LA NUTRITION

Les recherches dans le domaine de la nutrition ont eu un impact relativement limité dans les régions de l'Afrique « sèche ». Cependant, certains de leurs aspects ont une portée géographique suffisamment large pour être rappelés, d'autant plus que les disettes lors des périodes de sécheresse ont un impact important sur les populations sujettes à la malnutrition.

En premier lieu, l'étude de la biologie de l'africain au Cameroun a consisté en une approche des métabolismes protéidique, lipidique et minéral des sujets en bonne santé ou en cours d'états physiologiques particuliers.

En second lieu, une étude des aliments amylacés a conduit à la caractérisation de la valeur nutritive des sorghos et des tubercules, et des propriétés physico-chimiques de divers amidons.

Enfin, cette fois en rapport étroit avec les problèmes du lac Tchad, un programme est en cours sur l'appréciation de l'importance nutritionnelle des spirulines (algues) chez les populations du Kanem.

## **CONNAISSANCE DES FACTEURS HUMAINS DU DEVELOPPEMENT**

Les facteurs écologiques principaux, climats, sols, eau, végétation conditionnent les possibilités de développement agricole de l'Afrique, surtout dans ses régions sèches où certains de ces facteurs ont des caractéristiques extrêmes, température excessive, absence de pluie régulière par exemple. Mais ce développement agricole se réalise dans un contexte humain, dont on ne peut négliger l'importance. Or, il est indéniable qu'une partie seulement des connaissances accumulées par la recherche agronomique a pu se traduire par des progrès dans le monde paysan, souvent du fait d'une méconnaissance de ses règles de vie.

Conscient de ces faits, et également persuadé que si certaines caractéristiques des milieux humains pouvaient représenter un frein au développement, d'autres, au contraire, pouvaient en être un moteur inégalable, l'O.R.S.T.O.M. a créé, dès avant 1960, des services dénommés de « Sciences Humaines ». Quatre grands programmes leur ont été assignés :

- L'étude du milieu rural et de la dynamique du développement ;
- Les structures des villes et des espaces régionaux ;
- La construction nationale et le développement économique ;
- L'environnement écologique et socio-culturel.

Les recherches se rapportant à ces programmes et aux thèmes qui en dépendent, ont été réalisées par des équipes, souvent interdisciplinaires de démographes, sociologues, économistes, géographes. C'est en se rapportant à ces divers spécialistes et non par programme que les résultats obtenus dans le milieu humain sont présentés.

### **LES RECHERCHES DEMOGRAPHIQUES**

Les résultats des recherches démographiques, bien que fondés sur des études localisées, ont le plus souvent une valeur générale. Malgré cette observation, seules les opérations menées dans le cadre géographique de l'Afrique « sèche » seront mentionnées par la suite. Toutes se réfèrent aux grands thèmes retenus par les instances scientifiques de l'O.R.S.T.O.M. dans le programme « construction nationale » qui sont les suivants :

#### **Structure d'observation démographique et évolution de la mortalité tropicale**

Plusieurs enquêtes effectuées par la méthode dite « des passages répétés » ont eu lieu au Sénégal dans des régions à pluviométrie comprise entre 700 et 1 000 mm. Elles ont permis d'évaluer l'effet des disettes, dues à la sécheresse, sur la santé, traduit en particulier par la mortalité infantile, les taux de fécondité et l'induction de certaines migrations.



L'étude monographique d'un village entier au Sénégal a pu être menée sur une série de vingt et une années. Elle a fourni des données de base sur les taux respectifs de la mortalité et de la fécondité dans une région particulière de l'Afrique « sèche ».

## **Démographie et migration**

Un programme de recherches conjoint avec l'O.M.S. et l'Université de Dakar intitulé « étude migration-santé mentale » a permis de démontrer le meilleur état de santé des Serer migrants en ville par rapport à ceux restés à la campagne. D'autres publications ont été faites sur la dynamique des populations du Nord-Cameroun.

## **Relations populations-ressources**

Ce thème met en liaison les phénomènes démographiques et les indicateurs économiques disponibles, en particulier au Sénégal et dans le Nord-Cameroun. Les premiers résultats obtenus récemment ont montré le rôle des disettes sur la santé, en particulier celles ayant suivi les aléas climatiques de 1966 à 1968. Il faut également rappeler que des recherches plus anciennes avaient fourni des éléments de base essentiels pour l'aménagement rationnel de la vallée du fleuve Sénégal.

## **LES RECHERCHES SOCIOLOGIQUES**

Les recherches sociologiques effectuées par l'O.R.S.T.O.M. dans les pays francophones de l'Afrique « sèche » n'ont concerné jusqu'à présent que deux pays : la Haute-Volta et le Sénégal.

En Haute-Volta, les travaux des chercheurs s'articulent schématiquement autour de deux thèmes : la structure et la dynamique des communautés rurales et les comportements économiques traditionnels d'une part, l'étude des mouvements de population d'autre part.

L'essentiel des travaux effectués dans le cadre du premier thème a trait aux Mossi et aux Gurunsi. Chez ces populations a été étudiée de façon approfondie l'organisation sociale du travail agricole en relation avec les systèmes matrimonial, foncier et socio-politique villageois. Le second thème concerne principalement les Mossi. Les phénomènes migratoires qui affectent cette population ont été essentiellement envisagés sous deux aspects : 1) les migrations de travail à destination de la Côte-d'Ivoire dont le développement économique est largement tributaire des apports de population voltaïque ; 2) les colonisations des terres neuves effectuées par les Mossi en pays Bwasamo, Gurunsi et Marka.

Au Sénégal, la recherche sociologique est entreprise à l'intérieur de trois grands thèmes : 1) les structures socio-culturelles et les comportements économiques en zone arachidière ; 2) les colonisations de terres neuves ; 3) les communautés rurales. Les recherches entreprises sur le premier thème ont été effectuées chez les Wolof où a été étudiée l'organisation sociale de la production agricole arachidière, en relation avec la confrérie Mouride, et chez les Serer où a été envisagé l'effet des différentes appartenances religieuses sur le système socio-économique.

Les recherches relatives au second thème visent à définir les causes, les conséquences et les modalités des colonisations de terres neuves chez les Serer ainsi que les rapports autochtones-allochtones dans les zones d'arrivée.

Le troisième thème concerne les travaux effectués sur l'effet de la mise en place d'une structure administrative nouvelle — les communautés rurales — sur l'organisation sociale traditionnelle Wolof.

Ces recherches ont déjà fourni des données utiles pour les services de vulgarisation agricole, et elles devraient permettre de mieux connaître les possibilités de transmission dans le milieu humain des apports de la science agronomique et de la technologie moderne.

## LES RECHERCHES D'ORDRE ECONOMIQUE

Mis à part le Sénégal, les économistes de l'O.R.S.T.O.M. ont peu travaillé dans les pays de l'Afrique « sèche ». Sur les 148 années-chercheurs passées hors de France par les 23 économistes de la Section, 44 années-chercheurs ont été effectuées en Côte-d'Ivoire, 36 à Madagascar, 23 seulement au Sénégal. Les travaux concernant la Haute-Volta sont très peu nombreux, mais on note une série de travaux déjà anciens sur les circuits commerciaux vivriers dans le Bassin Tchadien.

Les recherches relatives au Sénégal ont surtout porté sur les comportements économiques en milieu rural (zone arachidière) ; elles se poursuivent aujourd'hui en milieu urbain. Il faut y ajouter une étude sur la moyenne vallée du Sénégal, déjà ancienne mais toujours précieuse à cause de son caractère exhaustif.

Il n'y a pas de travaux sur le Mali et le Niger, mais en Haute-Volta un économiste rural participe actuellement à l'enquête pluridisciplinaire sur les migrations.

Les projets actuellement à l'étude par l'O.R.S.T.O.M. dans le domaine des recherches économiques ne concernent que, dans une faible mesure, les problèmes de l'économie rurale « stricto sensu », en région de savane africaine. Il est cependant envisagé d'étudier les restructurations d'ensembles nationaux ou pluri-nationaux trouvant leur origine dans la modernisation du secteur rural.

## LES RECHERCHES GEOGRAPHIQUES

Les travaux, qui ont été confiés à la section de géographie, répondent à un certain nombre d'objectifs : approfondir la connaissance des milieux physiques et humains des pays tropicaux ; s'efforcer de dépasser le niveau descriptif pour définir des problèmes et chercher leur réponse ; penser ces problèmes en terme de développement afin de répondre aux besoins des Etats-hôtes. Depuis 1964, ces travaux sont centrés autour d'un nombre limité de thèmes, de façon à mener des recherches convergentes dans différents pays et à permettre les confrontations des méthodes et des résultats. Un de ces thèmes concerne les villes et leur environnement, deux autres s'appliquent au milieu naturel considéré en lui-même, les autres ont un caractère essentiellement rural. C'est à cette dernière catégorie que se rattache la plupart des recherches dans les pays concernés par cette note et qui sont le Sénégal, la Haute-Volta, le Niger et le Nord du Cameroun.

### Les terroirs et les structures agraires

Une première série de recherches est liée au thème intitulé « études de terroirs ». Elle a pour objet la connaissance des structures agraires et de leurs transformations actuelles, et doit permettre une meilleure appréhension des problèmes du monde agricole.

Les travaux sont réalisés au niveau des communautés villageoises et du terroir qu'elles exploitent. Une cartographie détaillée du milieu physique et des modes d'exploitation (plantes cultivées, jachères et pâturages), des enquêtes quantitatives (superficies cultivées, rendements, temps de travaux), l'étude de la communauté rurale, de ses structures sociales, de ses techniques et de ses règles foncières et religieuses, permettent de saisir, dans leurs mécanismes intimes, les relations entre l'homme et la nature. Elles permettent en particulier d'observer comment le paysan utilise le milieu naturel et le transforme, s'adapte aux conditions climatiques et pare à leurs irrégularités, en particulier lors des cas de sécheresse, de voir quelles sont les incidences des transformations sociales ou du développement des cultures commerciales sur le système de production traditionnel, de déceler où se situent les blocages freinant les processus de modernisation.

De nombreuses études de terroir ont été faites en Haute-Volta, soit dans la région centrale surpeuplée, occupée par les Mossi et ses marges, soit dans les zones périphériques généralement beaucoup moins peuplées. D'ores et déjà, elles permettent de dégager et de classer les grands types de structure agraire du pays.

D'autres études ont été réalisées au Cameroun chez les montagnards des Mandara et au Sénégal chez les Serer, c'est-à-dire dans l'un et l'autre cas, chez des populations très denses appartenant à de vieilles civilisations agraires, mais qui éprouvent de grandes difficultés à passer du stade de l'autosubsistance à celui de l'économie monétaire.

### **L'occupation de terres neuves**

Un deuxième thème, l'occupation de terres neuves fait également l'objet de recherches au Sénégal, en Haute-Volta et au nord du Cameroun.

En Afrique, et plus particulièrement dans la zone soudano-sahélienne, la répartition de la population est très irrégulière : des noyaux de fortes densités voisinent avec des zones sous-peuplées. Ces contrastes s'expliquent fréquemment par des raisons historiques aujourd'hui périmées ; aussi assiste-t-on actuellement à de nombreuses migrations de paysans qui partent coloniser des terres neuves ou peu peuplées. Ces mouvements peuvent être spontanés, ou encouragés par des pressions administratives, ou effectués dans le cadre d'une colonisation dirigée avec des aménagements plus ou moins poussés dans les zones d'accueil. Dans tous les cas, ils sont l'objet d'un vif intérêt de la part des Etats car ils permettent une meilleure utilisation de l'espace national et le développement des cultures commerciales.

Les phénomènes migratoires sont étudiés en eux-mêmes (effectifs, direction des flux, évolution au cours des années) et dans leur contexte naturel et humain, tant dans les zones de départ que dans les aires d'accueil. Les problèmes liés à l'insertion des migrants dans leur nouveau cadre de vie, à leurs rapports avec les populations autochtones, sont généralement au centre des préoccupations de ces recherches.

Des géographes de l'Office ont travaillé en particulier au Sénégal sur l'émigration des Serer vers les terres neuves de la zone arachidière orientale. En Haute-Volta, une enquête interdisciplinaire est en cours sur les migrations Mossi : migrations rurales vers les franges du pays Mossi d'une part, migrations de travail en Côte-d'Ivoire et au Ghana d'autre part, sont étudiées parallèlement et dans leurs relations éventuelles.

### **L'expression cartographique régionale**

Les travaux entrepris dans le cadre du thème « expression cartographique régionale » recouvrent des recherches de type assez divers, dont le point commun est l'importance primordiale donnée à la carte. Fréquemment, ils sont réalisés à la demande des pays hôtes et font l'objet de conventions. Ils concernent des espaces de

dimensions variées, de la petite région à l'Etat (atlas nationaux) et les jeux de cartes permettent d'inventorier et de localiser les différents types de faits et de découvrir entre eux certaines interdépendances.

Dans cette ligne ont été réalisées, au nord du Cameroun, des études géographiques fondées sur le commentaire et la comparaison de cartes au 1/100.000, ainsi qu'un atlas régional au 1/500.000. En Haute-Volta, une carte de la densité de l'occupation du sol a été établie d'après la couverture photographique aérienne. Enfin, un travail est en cours dans la vallée du Sénégal où un jeu de cartes au 1/100.000 présentera les faits de peuplement, les faits agricoles, ceux de l'élevage, la circulation et les échanges.

## **L'élevage**

Dès 1945, une série de cartes de l'élevage (densités, races, etc.) ont été élaborées au Sénégal et en Mauritanie. Actuellement, c'est essentiellement chez les éleveurs nomades du Niger et du nord de la Haute-Volta que sont menées les recherches sur le thème « élevage ». Ce dernier intitulé « évolution et formes modernes de l'élevage dans les zones tropicales et arides » a pour but d'examiner les transformations actuelles dues aux conditions nouvelles, notamment aux innovations techniques, à la naissance d'un marché de la viande, à la sédentarisation des pasteurs.

De nombreuses études ont déjà été réalisées, en particulier chez les Touaregs, et les opérations se poursuivent, les problèmes de l'élevage n'ayant réellement de l'importance que dans l'Afrique « sèche ».

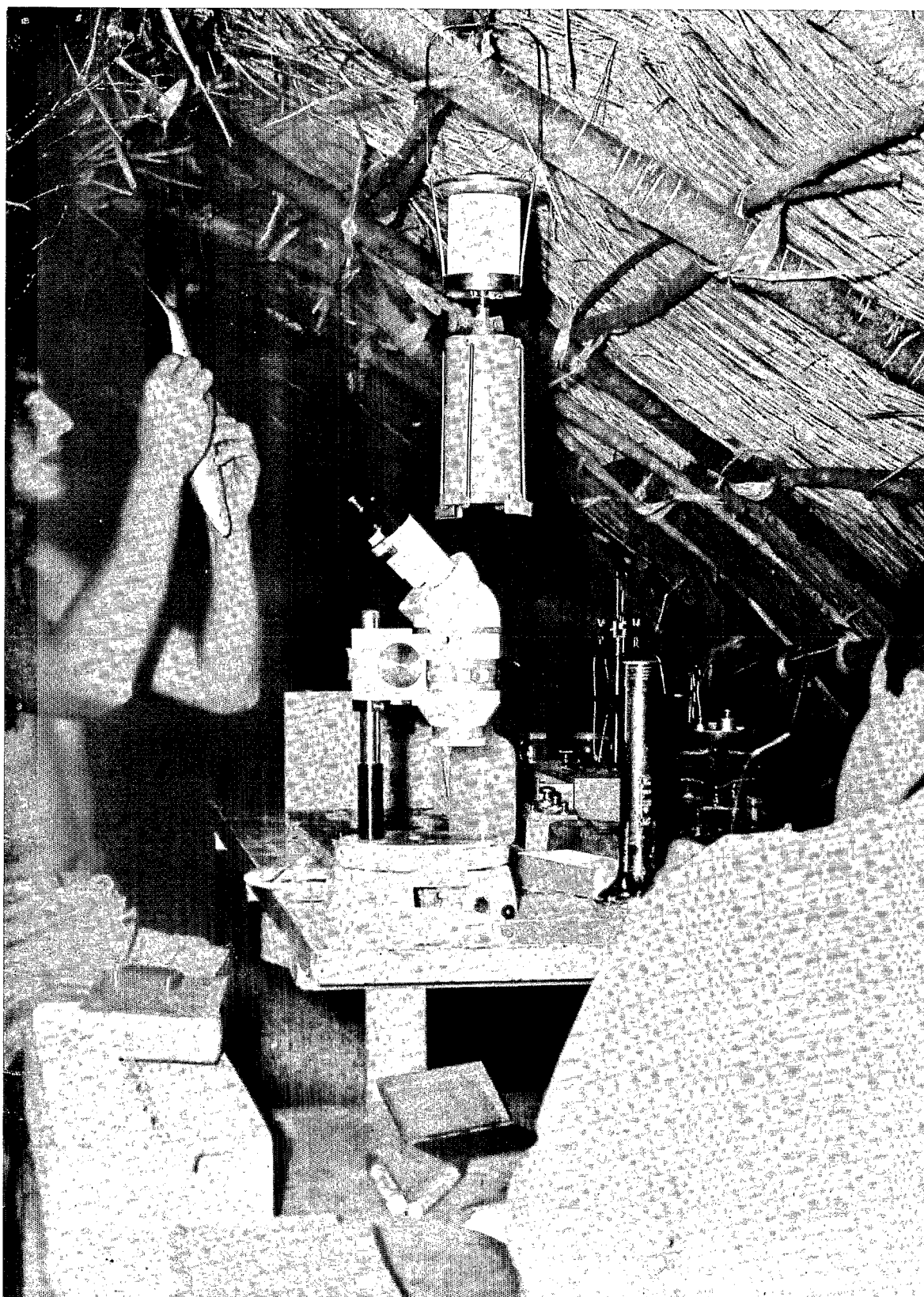
## **L'ETUDE INTERDISCIPLINAIRE DU BASSIN TCHADIEN**

Les travaux antérieurs à 1964, réalisés au Tchad par l'O.R.S.T.O.M. avaient mis en évidence un certain nombre de problèmes dans les domaines des Sciences de la Terre et dans ceux des Sciences biologiques. Pour les résoudre par une analyse scientifique rigoureuse, l'O.R.S.T.O.M. a mis au point une opération multidisciplinaire associant pédologues, hydrologues, sédimentologues, géochimistes, hydrobiologistes, quaternaristes.

## **LES DONNEES DU MILIEU**

### **Schéma hydrologique**

Pour mieux comprendre son développement, il faut préalablement situer le Bassin Tchadien. Il s'agit d'un bassin continental fermé, où le lac peut être caractérisé par le bilan hydrologique suivant : au point de vue des apports, les pluies directes ne représentent que 12 % des apports totaux, l'essentiel (88 %) étant constitué par les eaux fluviales ; au point de vue pertes, les infiltrations sont estimées à moins de 10 %, l'évaporation assurant donc plus de 90 % du total. L'origine des eaux fluviales se situe en amont, sur la bordure sud du bassin, soit donc dans la partie nord de la République Centrafricaine pour le Chari, et partiellement dans le Nord-Cameroun pour le Logone. Le lac est peu profond, ses berges sont partout en pente douce. L'évaporation est un paramètre climatique assez constant d'une année à l'autre, mais les pluies qui alimentent le lac directement ou par l'intermédiaire des fleuves varient largement. Ces éléments du bilan hydrologique expliquent d'abord que le lac a une crue saisonnière annuelle importante, de l'ordre de 90 cm. Ils expli-



Centre ORSTOM de Fort-Lamy - Recherches hydrobiologiques (Photo ORSTOM).

quent également que bien qu'en équilibre — le lac n'est ni en voie d'assèchement ni en cours d'extension à l'échelle historique — son niveau interannuel puisse accuser au gré de successions d'années pluvieuses ou sèches, des variations importantes pouvant entraîner des différences de surface considérables eu égard à la morphologie des côtes et à la faible profondeur : son « contenu » pour un niveau moyen n'est que 70 milliards de mètres cubes d'eau pour des apports totaux moyens annuels de 50 milliards de mètres cubes. Ainsi, en 1908, l'explorateur TILHO a trouvé la moitié nord du lac en grande partie asséchée.

Dans ce schéma hydrologique convergent un facteur topographique et un gradient climatique : les eaux du lac sont issues de régions constituées de massifs cristallins situés sous climat tropical humide, c'est-à-dire dissolvant, lessivant. Outre qu'elles apportent en moyenne trois millions de tonnes de sédiments annuellement au lac, ces eaux apportent une quantité équivalente de substances dissoutes, soit deux millions de tonnes de sels (essentiellement sous forme de carbonates) et un million de tonnes de silice. Or, on constate que les eaux du lac ne sont ni salées ni même saumâtres. Ceci implique des mécanismes régulateurs éliminant ou piégeant les sels apportés : au premier de ceux-ci on doit signaler l'élimination latérale souterraine par les nappes, les sels allant se déposer dans les fonds des cuvettes périlacustres où ces nappes proches de la surface sont soumises à l'évaporation ; ces phénomènes sont à l'origine de la salinisation qui limite la fertilité par ailleurs exceptionnelle des sols des polders ; ils conduisent également à la formation du natron (carbonate de soude), ressource minière exploitée et annuellement renouvelable. Les autres phénomènes régulateurs sont chimiques (précipitation localisée de certains sels), minéralogiques et biologiques (piégeage des ions dans les minéraux sédimentés et dans les organismes vivants végétaux et animaux).

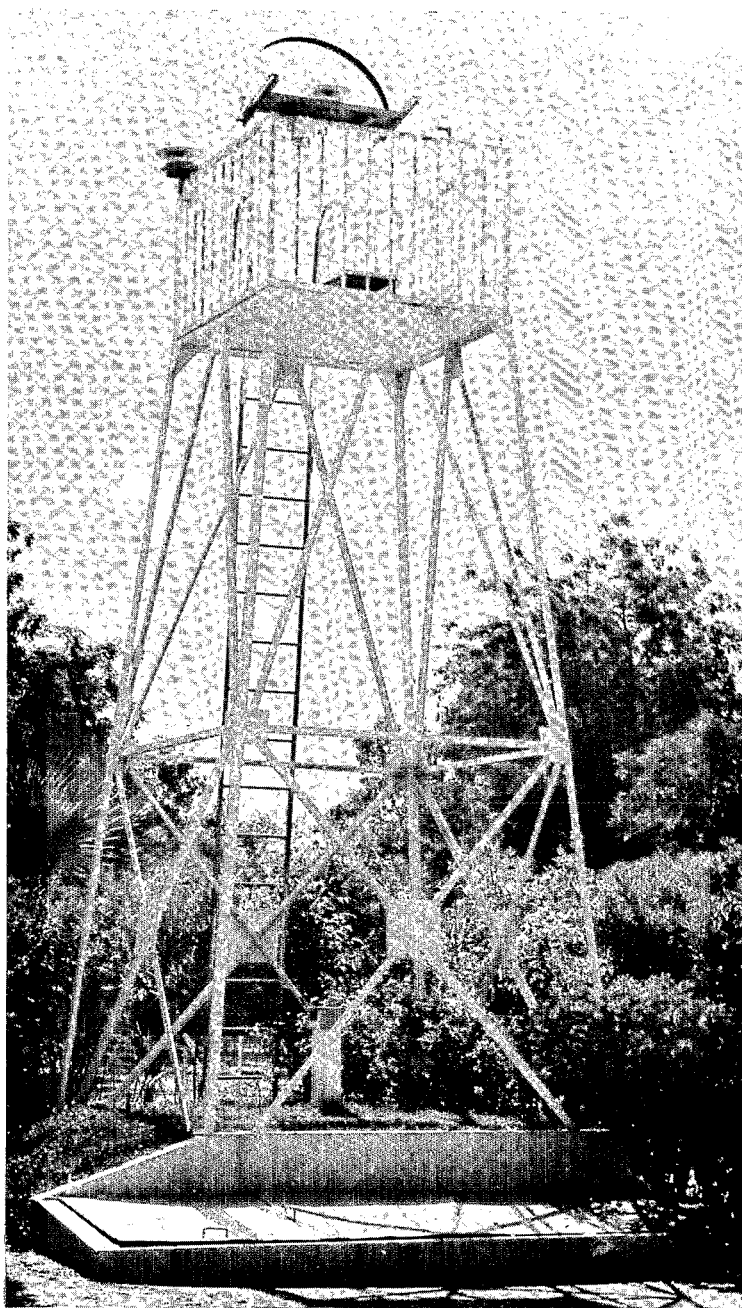
## Histoire quaternaire

Dans le cadre ainsi défini, il faut ajouter l'importance de l'histoire quaternaire du Bassin Tchadien dont l'héritage ancien conditionne de façon aussi contraignante l'aménagement du milieu. Les aspects actuels et anciens apparaissent indissociables.

On citera un exemple : le Logone a un réseau hydrographique fortement dégradé car, dans son trajet dans la cuvette, il perd des quantités d'eau considérables par débordement et inondation et à l'inverse d'un fleuve normal son débit diminue dans cette partie de son cours en allant vers l'aval. Ceci est dû à l'héritage géologique car le Logone coule dans le fond d'un ancien lac, dans une cuvette qui s'est affaissée par phases successives tout au long du Quaternaire où le bassin est resté continental et fermé ; quant au devenir des eaux d'inondation, la nature des sédiments des bas-fonds inondés, et l'évolution encore actuelle du paysage dans le sens d'un colmatage, en interdisent l'infiltration et la mise en réserve profonde. On se trouve là devant un équilibre dynamique naturel dont les conséquences sont considérables : il est pratiquement impossible d'intervenir efficacement pour favoriser l'infiltration à grande échelle dans ces régions et cette situation met le planificateur devant l'alternative d'utiliser directement l'eau de surface ou de la laisser disparaître par évaporation.

L'étude de l'évolution du milieu durant le Quaternaire constitue donc une des activités de l'O.R.S.T.O.M. dans les Sciences de la Terre : l'aspect « historique », au sens géologique du terme, est abordé suivant une optique de reconstitution globale de milieux géographiques et écologiques au cours des phases successives du Quaternaire. Pour ces différentes phases, traduites par des extensions et régressions du Lac Tchad dues aux variations climatiques et aux déformations du bassin, on cherche également à reconstituer les bilans des eaux et des matières transportées.

Au point de vue application, le domaine sédimentaire continental n'est pas favorable aux concentrations minérales constituant des ressources minières nobles susceptibles d'exploitation actuellement rentable ; les diatomites, par exemple, abondantes, ne sont pas un produit rare. Mais une seule analyse de ce type paraît susceptible de résultats assez généraux pour orienter à terme des prospections de nouvelles matières utiles et surtout préciser, dans une région où le problème de l'eau est un facteur limitant clé, les conditions de gisement et d'alimentation des nappes d'eau souterraines dont l'essentiel des réserves est très ancien.



*Centre ORSTOM de Fort-Lamy.  
La tour et son équipement  
pour mesure de l'énergie solaire :  
rayonnements global et diffus.*

*(Photo ORSTOM).*

## **Aspects biologiques**

Du point de vue biologique, le lac Tchad apparaît comme un milieu original et particulièrement favorable à la vie : des eaux peu profondes, chaudes et sans stratification thermique notable, des masses végétales importantes... Le poisson est traditionnellement exploité dans le lac et son système de tributaires ; il constitue une source de protéines importante pour les populations riveraines mais également pour les régions éloignées touchées par un circuit commercial déjà considérable qui peut encore s'étendre.

S'il ne se pose pas actuellement de problème de pollution pour les eaux du système du lac Tchad, celui de son exploitation rationnelle reste essentiel ; il s'agit en fait de régler cette exploitation suivant les taux de production des différentes espèces exploitables, qui dépendent des cycles biologiques, et des inter-relations spécialement alimentaires, entre les différents organismes entrant dans la chaîne alimentaire. Il s'agit concrètement en cas d'une baisse de rendement de la pêche que pourraient mettre en évidence des statistiques de pêche, de pouvoir diagnostiquer la cause et la nature du phénomène, juger d'un éventuel état de sur-exploitation et de sa gravité, disposer des éléments permettant de prendre des mesures conservatoires adaptées.

Ces problèmes sont d'autant plus importants que la pêche a considérablement évolué depuis dix ans et qu'elle s'intensifie rapidement actuellement. D'autre part, si le lac présente a priori des caractéristiques de milieu riche, il présente aussi celles d'un milieu fragile : les conditions physico-chimiques et écologiques varient grandement et de façon complexe avec les variations interannuelles de niveau et de surface du lac ; localement, les pêches peuvent être particulièrement efficaces et peut-être dangereuses à certaines époques de basses eaux ; enfin, les espèces migratrices exploitées sont nombreuses ; elles empruntent des circuits complexes au cours desquels elles peuvent être soumises à des pêches excessives ; ces circuits ne doivent être modifiés par des aménagements du milieu qu'avec la plus grande prudence.

## LES RECHERCHES

### Hydrobiologie

Les recherches de la section d'hydrobiologie de l'O.R.S.T.O.M. sont toutes concentrées sur le lac Tchad où elles ont débuté en 1971. Les travaux entrepris ont d'abord consisté en l'inventaire des formes présentes et la mise en évidence de celles jouant un rôle important dans ce réseau : il s'agissait de sélectionner les objets d'étude en fonction des objectifs fixés. L'étude de l'écologie et de la biologie de ces formes a ensuite été entreprise, avec celle de leur répartition dans l'espace. Ceci aboutit actuellement à une présentation synthétique de l'ensemble de ces résultats avec tentative de définition de grandes zones écologiques du lac dans sa situation de 1971. La phase suivante est directement axée sur les éléments déterminant la production : reproduction, vitesse de croissance et taux de renouvellement, nutrition, dynamique des diverses populations d'organismes. Ceci est diversement avancé pour les différents groupes : plancton, insectes, mollusques et un nombre encore limité d'espèces de poissons économiquement importants dont principalement *Alestes baremoze* appelé localement Salanga. Ces peuplements ichtyologiques ont été perturbés récemment par la baisse du niveau du lac, qui atteint 3 mètres pour une profondeur moyenne de l'ordre de 4 à 5 mètres en 1965.

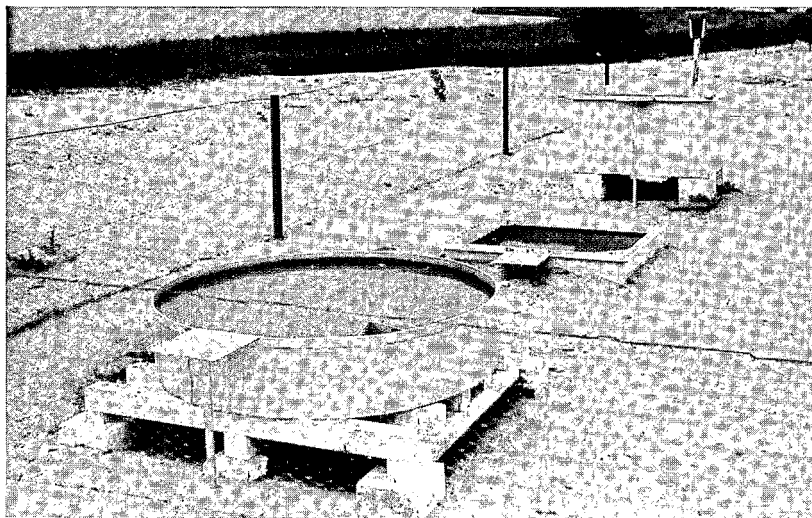
Parallèlement à ce schéma majeur, l'intérêt est également porté sur toutes espèces utiles et exploitables : c'est ainsi que des travaux ont été entrepris et vont être poursuivis sur la Spiruline (algue bleue) qui se développe dans certaines mares du Kanem. Ces travaux sont exécutés par les nutritionnistes de l'O.R.S.T.O.M.

Il serait inexact de penser que ces actions intégrées sciences de la terre et biologie sont cloisonnées ; elles sont bien au contraire concertées et dépendantes : pour un certain nombre d'organismes vivants, une caractéristique importante du milieu biologique est en effet la nature du fond ; pour tous, mais à des degrés divers, l'ambiance physico-chimique est plus ou moins importante ; la production finale de la chaîne alimentaire est de toute façon sous la dépendance de la richesse des eaux en sels nutritifs, qui conditionne la production primaire des êtres les plus simples intervenant au stade initial de cette chaîne ; enfin, certains organismes fixent des éléments dissous en quantité suffisante pour contribuer à la régulation ionique du lac ; pour des êtres comme les diatomées, il s'agit d'une véritable sédimentation chimique qui a présenté au cours du Quaternaire une importance variable, mais considérable à certaines phases.



## Hydrologie

Dans le domaine relevant de la section d'hydrologie de l'O.R.S.T.O.M., les études de dynamique et de bilan des eaux du bassin comportent divers objectifs : préciser les origines, les trajets empruntés, les temps de séjour et les vitesses des eaux dans le Chari, le Logone, l'El Beïd, le lac Tchad ; préciser les relations de ces eaux du lac avec les nappes côtières souterraines ainsi que l'influence de l'infiltration des eaux de pluies dans l'alimentation de ces nappes ; préciser la part respective des termes évaporation et pertes marginales dans le bilan hydrologique du lac.



Centre ORSTOM de Fort-Lamy.  
Station  
de climatologie Bol Dune.

(Photo ORSTOM).

Ces travaux reposent sur l'utilisation de méthodes physico-chimiques ; on étudie l'évolution dans l'espace et dans le temps des caractères suivants des eaux : conductivité, ions majeurs, sels, isotopes (oxygène 18, deutérium, tritium), qui présentent divers types de traçage en fonction de l'influence primordiale de l'évaporation tout au long du parcours des eaux. Ce travail inclut par le fait l'étude des apports en solution des fleuves au lac ; il contribue à l'analyse de la régulation saline du lac, en plus de la caractérisation du milieu à d'autres fins, biologiques en particulier.

L'étude des transports solides en suspension est enfin réalisée dans le système hydrologique du lac Tchad : il s'agit d'une analyse quantitative et qualitative dans l'espace et dans le temps. La première étape a consisté à sélectionner un petit nombre de stations représentatives du réseau pour les grands ensembles naturels qu'il parcourt : soit d'une part au niveau du 9<sup>e</sup> parallèle pour contrôler la partie amont et atteindre le bilan des apports, d'autre part au niveau de Fort-Lamy pour esquisser le bilan des matières déposées dans la zone de transit de la cuvette et estimer les sédiments se dirigeant à l'aval vers le lac.

Les résultats obtenus mettent en évidence le rôle prépondérant de la zone ouest amont dans la constitution des apports ; cette région apparaît soumise à une érosion forte (80 t/km<sup>2</sup>/an, contre 2 t/km<sup>2</sup>/an dans la partie est amont) ; on note également de très fortes variations saisonnières du débit solide. Les résultats confirment en outre l'importance des pertes du Logone dans les plaines d'inondation (40 % de l'apport de l'amont).

Cette étude est évidemment couplée avec les travaux sur l'érosion et l'altération, effectués depuis le Centre O.R.S.T.O.M. de Bangui et avec les travaux sur la sédimentation dans le lac réalisés par les géologues du Centre de Fort-Lamy.

Sur le plan pratique, les données brutes de transport solide intéressent directement le projeteur d'éventuels ouvrages de retenues puisque cette charge solide conditionne aussi bien le comblement de ces retenues que l'usure des machines hydrauliques.

## Géologie - Sédimentologie - Géochimie

En géologie et sédimentologie, outre des données sur la bathymétrie du lac, une carte des fonds au 1/500.000 a été dressée. Un effort particulier a ensuite été fait sur le devenir des ions dans le paysage, en particulier des ions majeurs dans une cuvette continentale, spécialement du fer, de sa dynamique et de sa sédimentation sous forme d'oolithes ; cet élément joue en effet un rôle important dans la transparence des eaux et la production primaire du milieu. L'autre aspect étudié actuellement concerne les échanges entre l'eau interstitielle et la phase colloïdale sédimentaire qui participent à la régulation chimique des eaux.

Une action particulière mérite d'être signalée sous le titre de la sédimentation actuelle : l'O.R.S.T.O.M. réalise actuellement sur contrat avec la SCET-International le levé bathymétrique, l'étude et la cartographie sédimentologiques d'un bras du lac de la région de Bol, dont la poldérisation est ensuite prévue. Ce travail s'intègre dans le cadre d'une étude de factibilité entrant dans un vaste projet de poldérisation régionale.

La géochimie des natronières et la genèse du natron (carbonate de soude) est une autre étude d'intérêt actuel poursuivie par les géologues. Elle comporte deux aspects. D'abord l'inventaire des formes minéralogiques présentes, ensuite la dynamique de la formation de ces espèces minérales. Les données obtenues, qui ont permis d'expliquer certaines anomalies de gisements salins se formant de nos jours, seront indispensables pour organiser rationnellement toute intensification ou tout aménagement technologique de l'exploitation des natronières.

Le dernier ensemble de travaux géologiques concerne un programme plus ancien : il s'agit de l'étude de la sédimentation quaternaire dans le bassin qui a été menée principalement sur la bordure nord tchadienne et nigérienne de la cuvette. Ce travail a été réalisé sur le terrain par les méthodes de la stratigraphie et de la géomorphologie, s'associant — outre l'analyse classique des sédiments — les techniques de datation absolue au radiocarbone et celles de micropaléontologie adaptées à ce type d'investigation : étude de diatomées et des pollens, qui contribuent à préciser les conditions physico-chimiques, thermiques et plus généralement écologiques des différents milieux de sédimentation, ainsi que les caractères paléoclimatiques des stades successifs reconnus. Il a été possible de reconstituer dans ses grandes lignes l'histoire du fond de la cuvette tchadienne depuis 40.000 ans et de poser des jalons pour une histoire plus ancienne. L'étude des diatomées par exemple a permis de suivre l'évolution des paysages depuis 12.000 ans. Quant aux études palynologiques, elles ont été facilitées par la connaissance des peuplements végétaux dans le Bassin.

Les résultats représentent le cadre indispensable au géologue minier pour orienter la recherche de sédiments techniquement intéressants et à l'hydrogéologue pour préciser les conditions de gisement des nappes d'eaux souterraines.

## Hydrogéologie

Du point de vue hydrogéologie précisément, des analyses isotopiques (plus de 1.000) ont permis de caractériser et de différencier l'origine des eaux fluviales, lacustres et souterraines. Ces études soulignent en particulier le caractère subfossile des nappes phréatiques, mais aussi les possibilités de mélange avec les eaux météoriques actuelles. Dans le prolongement de ces travaux, limités jusqu'à présent aux nappes périlacustres superficielles, l'O.R.S.T.O.M. a en projet d'entreprendre un programme d'étude de l'évolution ancienne et actuelle des nappes d'eaux souterraines, en vue de préciser l'origine, l'âge, l'alimentation, la dynamique et le bilan de ces nappes. Il est en effet certain qu'à terme, mais dans un délai court, le développement des régions sahéliennes du pourtour du lac reposera sur une utilisation directe des eaux de surface, mais aussi des eaux souterraines dont l'essentiel des réserves est ancien et mal estimé, dont la dynamique est mal connue et pourtant déterminante pour leur exploitation.

## Pédologie

Les études pédologiques particulières au projet interdisciplinaire ont tenu compte du fait que la concentration saline est par contre beaucoup plus forte dans les cuvettes qui bordent le lac. Or, ce sont là les terres cultivées d'une région par ailleurs sableuse et semi-désertique. Ces terres basses sont en effet argileuses et assez riches en matière organique. Surtout la présence à faible profondeur d'une nappe permet de les irriguer assez aisément. Ce sont les « polders » de la région de Bol, les « ouaddis » des régions de Mao, N'Gouri, Massakory.

La façon dont cette nappe phréatique et les sols sus-jacents se salent progressivement a été régulièrement suivie et étudiée par l'O.R.S.T.O.M. depuis vingt ans. Les sels en jeu sont des sels « continentaux », dangereux. Les carbonates en particulier diminuent la fertilité du sol non seulement par leur effet salin (l'augmentation de la pression osmotique des solutions du sol gêne l'absorption d'eau par les plantes), mais aussi par leurs conséquences sur le pH du sol qui devient excessivement élevé, et sur les propriétés physiques du sol (dégradation de la structure, imperméabilisation). C'est pourquoi l'O.R.S.T.O.M. a mis l'accent sur l'étude des mécanismes d'apparition et d'accumulation de ces carbonates alcalins dans les sols. La compréhension de ces mécanismes permet, dans le cas des polders, de proposer quelques règles quant à la mise en valeur. Mais inversement, cette accumulation saline peut s'avérer localement un facteur favorable, lorsque son intensité est suffisante pour que le sel puisse être extrait et commercialisé. Ce sont les « natronnières » dont les géologues O.R.S.T.O.M. ont étudié la genèse, le mode et la vitesse de renouvellement des sels. Ces données, la reconnaissance cartographique des sites favorables, contribuent donc à une mise en valeur rationnelle de ce type de gisement minéral.

## CONCLUSIONS

La réalisation des études lancées par l'O.R.S.T.O.M. dans le bassin tchadien a nécessité la collaboration de spécialistes nombreux et variés : pédologues, géologues, hydrogéologues, géochimistes, quaternaristes, sédimentologues, hydrologues, climatologues, géophysiciens, botanistes, palynologues, hydrobiologistes, chimistes. Leurs travaux respectifs ont largement bénéficié des connaissances acquises par leurs collègues. Mais cette collaboration interdisciplinaire a mis également en évidence la complexité des mécanismes qui régissent les équilibres écologiques d'une région de l'Afrique « sèche » où les problèmes de l'eau prennent une importance exceptionnelle. C'est lorsque le lac Tchad perd les deux tiers de sa surface du fait d'une sécheresse anormale que l'étude intégrée lancée par l'O.R.S.T.O.M. prend réellement toute sa valeur.

## LES PUBLICATIONS DE L'O.R.S.T.O.M.

La plupart des travaux des chercheurs de l'Office sont publiés, soit dans des périodiques, soit dans des ouvrages divers dont l'O.R.S.T.O.M. est éditeur.

Les périodiques les plus importants sont les cahiers de l'O.R.S.T.O.M., dont les séries trimestrielles sont les suivantes :

- entomologie médicale et parasitologie,
- hydrobiologie,
- hydrologie,
- océanographie,
- sciences humaines,
- pédologie.

Il faut y ajouter une série semestrielle pour la géologie, et des séries non périodiques pour la biologie et la géophysique.

Parmi les ouvrages divers, il faut noter que plus de soixante mémoires O.R.S.T.O.M. ont été publiés jusqu'à présent, auxquels s'ajoutent d'autres documents imprimés « initiations », « documentations techniques », « travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M. » et « Annales hydrologiques ». Ces derniers paraissent chaque année, remplaçant les anciens « Annuaire hydrologiques ». A ces collections, il faut ajouter un certain nombre de publications diverses, et surtout toutes les cartes de géophysique, de géologie, d'hydrologie, de pédologie et d'utilisation des terres, d'océanographie, de botanique, d'entomologie médicale, de géographie et de sciences humaines. La plupart des cartes sont complétées par des notices explicatives dont plus de cinquante ont été imprimées antérieurement à 1973. Certains atlas nationaux sont également en cours de publication par l'O.R.S.T.O.M.

Compte tenu des publications extérieures à l'O.R.S.T.O.M. et des documents à tirage limité fournis aux Etats dans le cadre de conventions d'étude, c'est à un total de 4 000 titres que s'élève la liste bibliographique des travaux des chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. dans la zone de l'Afrique sèche.



***RESSOURCES  
EN EAUX SOUTERRAINES  
DE L'AFRIQUE  
TROPICALE SÈCHE***

**BRGM**



## RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE L'AFRIQUE TROPICALE SECHE

La carte d'orientation hydrogéologique\* de l'Ouest et Centre Africain fait le point des connaissances géologiques et hydrogéologiques acquises à ce jour.

Il ne faut pas cependant demander à ce document d'autre vocation que l'illustration d'un exposé et la définition des grandes provinces hydrogéologiques. Si le lecteur veut accéder à plus de détails, à l'échelle de la province, et dans certains cas de la région, il mettra à profit la liste des documents cartographiques donnés en annexe.

Le découpage cartographique adopté a été fondé sur deux objectifs ; d'une part faire apparaître la zone climatique à longue saison sèche (isohyète 100 — 1 000 mm), d'autre part mettre en évidence la répartition spatiale des grandes unités géologiques tels que bassins sédimentaires et vieux socle.

Il nous a paru utile également de figurer l'isohyète 400 mm qui distingue globalement deux domaines hydrogéologiques, l'un au Sud où les nappes peuvent être réalimentées directement par les pluies, l'autre au Nord, où il n'y a plus d'alimentation et dans lequel les aquifères doivent être exploités comme des gisements miniers.

---

\* Voir cette carte à la fin de l'ouvrage.



# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

## LES GRANDES PROVINCES HYDROGEOLOGIQUES — RESSOURCES EN EAU

### LE VIEUX SOCLE

#### LES BASSINS SEDIMENTAIRES

##### Le bassin de Taoudeni

###### L'Infracambrien

COUVERTURES DE PLATE-FORME  
CHAINES ET COUVERTURES PLISSEES

###### Le Primaire

COUVERTURES DE PLATE-FORME  
COUVERTURES PLISSEES

###### Les formations continentales secondaires et tertiaires

###### Le Quaternaire

##### Le bassin primaire de Guinée

##### Les bassins primaires de la bordure du Sahara central

*Bassin de Tamesma*

*Synclinal primaire du Djado*

*Bassin de Borkou-Ennedi*

##### Les bassins du Niger et du Tchad

###### Bassin du Niger

###### Les formations secondaires et tertiaires

###### Le Continental Intercalaire (s.1.)

NAPPES DU PERMO-JURASSIQUE  
NAPPES DES GRES DE TEGAMA

###### Le Crétacé moyen et supérieur

OUEST NIGERIEN  
BASSIN DE TERMIT

###### Le Paléogène

###### Le Continental Terminal

###### Bassin du Tchad

###### Le Continental Terminal

###### Le Quaternaire

###### Le bassin sénégal-mauritanien

###### Le Maestrichtien

###### Le Paléocène

###### L'Eocène

###### L'Oligo-Miocène

###### Le Continental Terminal

###### Le Quaternaire

## DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES

### CARTES GEOLOGIQUES

### CARTES HYDROGEOLOGIQUES

## INTRODUCTION

Il est présenté ci-après une synthèse des études conduites par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.M.G.) sur les ressources en eaux souterraines des pays de l'Afrique sèche : Sénégal, Mauritanie, Mali, Haute-Volta, Niger et Tchad.

Ces ressources sont présentées dans un cadre géographique global, suivant un découpage horizontal pour les bassins sédimentaires et affleurements du socle, et vertical selon les étages géologiques parfois groupés d'ailleurs lorsqu'ils forment une série hydrogéologique homogène.

Ce cadre basé sur les limites géologiques naturelles déborde les frontières des Etats.

L'examen rapide de la carte met en évidence l'existence de cinq bassins sédimentaires :

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| — bassin sénégalo-mauritanien |                         |
| — bassin de Taoudeni          | — bassin du Tchad       |
| — bassin du Niger             | — bassin soudano-libyen |

encadrés par le socle affleurant :

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| — bouclier Reguibat                  | — Ouaddaï            |
| — bouclier Libero-Ivoirien-Voltaïque | — Aïr                |
| — bouclier Nigerian                  | — Adrar des Ifoghas. |

La série géologique s'étend du Précambrien (3 000 M A) au Quaternaire. Le bassin de Taoudeni a fonctionné dès l'Infracambrien (1 000 M A) alors que les bassins périphériques n'ont commencé à se manifester que plus tardivement au Jurassique.

La constitution de l'Ouest et du Centre Afrique peut être décrite très schématiquement de la façon suivante : Sur une immense plate-forme formée par l'assemblage de chaînes arasées profondément granitisées (Précambrien), s'est installé un immense bassin marin subsident, le bassin de Taoudeni qui va fonctionner de l'Infracambrien au Carbonifère. Ce bassin est affecté sur ses bordures par des fosses dont les dépôts épais, sédimentaires ou volcano-sédimentaires, vont être plus ou moins profondément transformés et plissés lors de plusieurs orogénèses. C'est le cas de la chaîne des Mauritanides et de la zone métamorphique du Gourma.

Après une période d'émersion, de part et d'autre du bassin de Taoudeni, vont se dessiner de nouveaux bassins subsidents : le bassin sénégalo-mauritanien à l'Ouest, les bassins du Niger et du Tchad à l'Est. Ces bassins, qui fonctionnent à partir du Jurassique, feront l'objet d'incursions marines et d'épisodes continents en alternance jusqu'à la fin du Tertiaire.

Au Quaternaire, des dépôts lacustres, fluviaux et éoliens, vont former d'importantes accumulations, notamment au Tchad sur le pourtour du lac ; des dépôts marins et éoliens vont également affecter la bordure littorale du bassin sénégalo-mauritanien. Enfin de puissantes formations dunaires recouvrent de larges étendues dans la zone saharienne.

## LES GRANDES PROVINCES HYDROGEOLOGIQUES — RESSOURCES EN EAU

On distinguera le vieux socle, reste de la vaste plate-forme granitisée primitive, et les bassins sédimentaires, du plus ancien aux plus récents.

### LE VIEUX SOCLE

Le socle n'a pas été différencié cartographiquement bien que les spécialistes aient distingué plusieurs cycles dénommés Précambrien D, C2 et C1. De toute façon, cette différenciation ne présente aucun intérêt du point de vue hydrogéologie pour lequel seuls comptent le faciès de la roche, son degré de fissuration et ses produits d'altération.

Habituellement, le socle est considéré comme imperméable ou peu intéressant du point de vue ressources en eau : c'est une généralisation hâtive. Certes ses ressources sont limitées et très ponctuelles, mais à condition d'effectuer des études hydrogéologiques de détail, appuyées sur des données géophysiques, il est presque toujours possible de trouver une solution pour l'alimentation en eau de petits centres ruraux ou pastoraux.

En règle générale, la recherche d'eau en zones de socle doit être considérée comme une somme d'études hydrogéologiques ponctuelles, fondées sur la photogéologie, le levé géologique de détail et la géophysique. Toute recherche empirique conduit à des échecs.

Le socle considéré globalement est constitué :

- de roches cristallines :
  - granites, granitoïdes, gneiss
- de roches métamorphiques :
  - schistes
  - roches vertes
  - quartzites
  - arkoses
  - roches carbonatées
- de roches éruptives :
  - dolérites, basaltes, etc. fort peu développées dans la région étudiée.

Les roches cristallines par altération physico-chimique donnent des arènes plus ou moins sableuses et argileuses qui peuvent contenir de petites nappes. Signalons à titre d'exemples les nappes d'arène de Fort-Trinquet à l'extrême Nord de la Mauritanie, et la nappe de Bouaké dans le Nord de la Côte d'Ivoire.

La fissuration de la roche saine peut aboutir à la formation de drains naturels captables par puits ou forages. Les roches métamorphiques ont des comportements extrêmement variables.

- Les schistes par altération donnent des produits argileux très peu perméables donc a priori sans intérêt, cependant les discontinuités (filons de quartz, dykes) peuvent constituer des drains privilégiés captables. Les schistes sains très fissurés peuvent dans certains cas se révéler aquifères.

- Les roches vertes et les quartzites, par fissuration (failles principalement) peuvent offrir certaines ressources.
- Les arkoses dont l'altération conduit à des arènes peuvent de ce fait s'avérer intéressantes.
- Les roches carbonatées, dans la mesure où existe une certaine évolution karstique, peuvent se révéler d'excellents aquifères.

Les roches éruptives épanchées en coulées superposées, plus ou moins vacuolaires, forment dans certains cas d'excellents aquifères.

L'hétérogénéité du socle — celle de la roche saine, des produits d'altération, ou de la fissuration — en fait un domaine d'étude extrêmement difficile nécessitant l'intervention de spécialistes.

Une étude exhaustive des problèmes hydrogéologiques du socle, fondée sur la statistique, a été réalisée par R. BISCALDI (1967, publication CIEH-BRGM). Elle a permis de dégager un certain nombre de lois sur la probabilité de l'existence de ressources en fonction de paramètres tels que nature de la roche, type d'altération, profondeur de l'altération, présence de filons ou de dykes, végétation, climat, etc.

Il est important de souligner que les ressources en eau du socle sont étroitement liées à une réalimentation périodique par les pluies ; il s'agit en effet de nappes peu profondes et très limitées. En conséquence, en deçà de l'isohyète 400 mm, à moins de circonstances particulières, l'exploitation de ces ressources devra être conduite avec prudence.

## LES BASSINS SEDIMENTAIRES

### Le bassin de Taoudeni

#### L'Infracambrien

Un intervalle de temps considérable (1 600 M A à 1 000 M A) s'est écoulé entre les dernières phases de granitisation du socle et les premières manifestations de subsidence du bassin de Taoudeni et de son prolongement le bassin voltaïen.

Le cycle sédimentaire infracambrien (ou Précambrien A) est représenté par deux types de formations :

- des couvertures de plate-forme sédimentaires et subhorizontales
- des chaînes ou des couvertures plissées qui ont pour origine des dépôts sédimentaires et volcano-sédimentaires des fosses de bordure du bassin.

#### COUVERTURES DE PLATE-FORME

L'Infracambrien forme une auréole concentrique en bordure de socle.

Dans l'Adrar il est représenté par trois niveaux :

- à la base des grès conglomératiques
- au-dessus des calcaires dolomitiques (à Stromatolithes)
- au sommet des grès variés.

La plupart des points d'eau utilisent des ressources superficielles (alluvions) sans fournir de renseignements sur les ressources profondes éventuelles. Cependant un certain nombre d'indices (sources à différents niveaux dans les grès de base) laissent supposer à certains auteurs (L. BOURGUET, BURGEAP, 1960 ; R. TROMPETTE, B.R.G.M., 1961 ; R. GOUZES, B.R.G.M., 1961) la possibilité d'existence de nappes plus ou moins généralisées.

Des travaux de sondages plus récents (R. GOUZES, B.R.G.M., 1967-1970) ont permis de vérifier ces hypothèses et ont mis en évidence des ressources en eau douce dans les grès de base.

En ce qui concerne les calcaires, des indices de karstification en surface laissent supposer la possibilité d'existence de nappes (R. TROMPETTE, B.R.G.M., 1962). Les travaux de forages entrepris pour l'alimentation en eau d'Atar ont effectivement montré que les calcaires étaient aquifères, mais dans un cas particulier : sous la nappe d'inféro-flux d'un oued.

La seule reconnaissance systématique par forages profonds permettrait de lever les indéterminations actuelles.

Dans le massif de l'Affolé, l'Infracambrien est essentiellement gréseux sur plus de 1 000 m d'épaisseur :

- à la base des grès compacts (400 à 1 000 m)
- au-dessus des grès tendres à stratification entrecroisée (100 m)
- au sommet des grès compacts (50 m).

Pour F. LELONG (BURGEAP, 1960), les grès de base et les grès supérieurs constituent un ensemble stérile. Seuls les grès tendres intermédiaires pourraient présenter un intérêt hydraulique. Mais là encore aucun test par forage n'a pu être réalisé.

Suivant la falaise de la Tambaoura et à la bordure nord du plateau du Mali, l'Infracambrien est constitué de grès et calcaires dolomitiques. Cette région est très mal connue du point de vue hydrogéologique, les ressources actuellement utilisées étant liées à des formations superficielles, alluviales et latéritiques.

A la bordure méridionale du bassin, la série est à dominante gréseuse, constituée de bas en haut d'arkoses, de grès grossiers à horizons dolomitiques, surmontés par un ensemble gréseux.

Dans ces formations, l'eau peut circuler dans les interstices et fractures particulièrement bien développées. Signalons une nappe d'interstice dans les grès de Sikasso, et les résultats très intéressants d'un forage, foncé dans les grès de Bandiagara, qui a recoupé à 100 m de profondeur une fracture ouverte aquifère avec eau jaillissante.

Dans la boucle du Niger, étudiée par R. REICHEL (B.R.G.M.), plusieurs faciès hydrogéologiques ont été distingués.

— Dans le Gourma :

- des calcaires dolomitiques alternant avec des grès
- des calcaires argileux
- une série argileuse.

— Dans l'Azaouad

- une alternance de grès, de calcaire et d'argile.

Les faciès calcaires ont subi dans certains cas une évolution karstique et sont de ce fait aquifères. Il en est ainsi pour la nappe profonde du Gondo qui est exploitée par de nombreux puits dont les débits moyens

varient de 1,5 à 5 m<sup>3</sup>/h. A signaler l'excellent forage CHRISTINE implanté par M. GRAVOST (B.R.G.M. 1969) en bordure de socle et qui a donné 100 m<sup>3</sup>/h. La nappe de l'Azaouad relève du même processus : les débits moyens des puits sont de l'ordre de 2 à 5 m<sup>3</sup>/h.

#### CHAINES ET COUVERTURES PLISSEES

Les formations infracambriennes plissées et métamorphisées correspondent :

- à l'axe de la chaîne des Mauritanides qui s'étend le long de la côte atlantique, depuis le Maroc jusqu'en Sierra Leone, à travers le Sahara Espagnol, la Mauritanie, le Sénégal et la Guinée,
- à la bordure sud-est du bassin de Taoudeni dans le Gourma,
- au flanc oriental du bassin voltaïen.

Les faciès rencontrés — schistes, grès, quartzites, plus rarement roches carbonatées et termes volcano-sédimentaires, basaltes, rhyolites, roches vertes, etc. — posent les mêmes problèmes de prospection que le socle. Signalons à titre documentaire la nappe d'Akjoujt (Mauritanie) contenue dans des roches vertes et des schistes fissurés et altérés.

#### Le Primaire

Les formations primaires du bassin de Taoudeni se présentent sous deux aspects :

- couverture de plate-forme sub-horizontale.
- couverture plissée et métamorphisée formée à partir des dépôts de la fosse primitive de la bordure occidentale du bassin (chaîne des Mauritanides).

Les formations sédimentaires reconnues dans le bassin appartiennent :

- au Cambro-Ordovicien inférieur
- au Cambro-Ordovicien supérieur
- au Silurien - Dévonien
- au Carbonifère.

#### COUVERTURES DE PLATE-FORME

*Le Cambro-Ordovicien inférieur* dessine une auréole sur les flancs ouest et sud du bassin.

Dans la région Nioro-Nara, le Cambro-Ordovicien comporte des jaspes, des argiles multicolores, des grès fins et des calcaires dolomitiques. Ces formations sont dans l'ensemble peu intéressantes et les ressources sont extraites des formations superficielles alluvionnaires et latéritiques.

Cette région est dans l'ensemble mal connue au point de vue hydrogéologique.

Dans la plaine du Hodh, c'est une série horizontale comprenant de bas en haut :

- des dolomies (très peu puissantes)
- des jaspes et schistes (quelques dizaines de mètres)
- des schistes siliceux et quartzo-schisteux qui forment l'essentiel de la série
- des grès argileux (30 à 40 m d'épaisseur).

Hormis les petites nappes situées dans les alluvions d'oued et accumulations dunaires, les ressources du substratum paraissent très peu importantes. Dans la série schisteuse, la tranche superficielle, fissurée et altérée sur 5 à 10 m, est en général aquifère, mais les débits sont toujours très faibles. Plus profondément, porosité et perméabilité deviennent négligeables et il est inutile d'y poursuivre le fonçage de puits (F. LELONG, BURGEAP, 1961).

La plaine de Kiffa, allongée Nord-Sud entre l'Assaba et l'Affolé, présente les faciès suivants.

De bas en haut :

- un conglomérat argilo-calcareux
- des dolomies calcaires
- des pélites et jaspes
- des grès feldspathiques
- des dolomies.

En dehors du conglomérat argilo-calcareux qui se comporte comme un niveau imperméable, les autres faciès présentent une porosité et une perméabilité notables dues à la présence de fissures et de diaclases et à l'altération de leur tranche superficielle. Ainsi à Kiffa, les jaspes renferment une nappe exploitée par de nombreux puits, mais qui se trouve être localement saumâtre.

Les dolomies non reconnues actuellement pourraient également se révéler aquifères.

Dans le Tagant et l'Assaba les formations représentées sont les suivantes.

De bas en haut :

- des pélites et grès
- des dolomies (25 m)
- des grès tendres à stratification entrecroisée (falaise).

- Les pélites et grès sont probablement aquifères, mais hormis dans quelques puits à faible débit, elles n'ont pas été testées par des sondages mécaniques profonds.
- Les dolomies au pied de la falaise ont été reconnues aquifères par des puits à bons débits.
- Les grès tendres laissent sourdre quelques sources mais il s'agit d'exutoires liés à une fracturation et non à une nappe généralisée.

Dans l'Adrar, les faciès correspondent, soit à des dépôts à dominante chimique (dolomies, calcaires, phtanites, jaspes), soit à des dépôts détritiques (pélites et grès). Exception faite de quelques sources à caractère exceptionnel et très local, on ne dispose que de très peu de données. Cependant il ne semble pas que l'on puisse fonder de grands espoirs sur cette zone.

Dans le bassin voltaïen, le Cambro-Ordovicien inférieur qui affleure sur la zone centrale, est représenté par des shales avec des passées calcaires. Cette formation est très mal connue du point de vue hydrogéologique.

*Le Cambro-Ordovicien - l'Ordovicien supérieur* qui coiffe les plateaux de l'Adrar, du Tagant et de l'Assaba et affleure au flanc ouest du bassin voltaïen, est essentiellement gréseux et quartzito-gréseux. Hormis quelques circulations d'eau dans des fractures et diaclases donnant lieu à des sources, on peut considérer ces formations dans leur ensemble comme stériles.

*Le Siluro-Dévonien* dans l'Adrar et le Tagant, constitué d'une alternance de niveaux gréseux, argileux et calcaires, affecte une forme tabulaire à l'Est, plissée vers l'Ouest.

Pour J. DELPY (B.R.G.M., 1961) et R. TROMPETTE (B.R.G.M., 1962), les grès siluro-dévonien semblent aptes à recéler une nappe : en petits bancs avec des joints ouverts, ils sont, de plus, diaclasés, érodés et altérés. Les structures synclinales de l'Ouest paraissent également très favorables à la constitution de réserves.

A ce jour, aucun sondage mécanique n'a été foncé et l'existence de nappe demeure encore hypothétique.

*Les formations post-dévonien*, masquées par les recouvrements sableux et les formations continentales

du Secondaire et Tertiaire, dans la plus grande partie du bassin de Taoudeni, ne sont visibles qu'au plein cœur du synclinal où affleure le Carbonifère constitué de calcaires, grès et argile.

Dans ce secteur, J.R. VILLEMUR (B.R.G.M., 1957) distingue deux catégories de points d'eau :

- les doux temporaires : oglats et puis exploitant les réserves superficielles réalimentées par les pluies
- les salés permanents : généralement en bordure ou à proximité des sebkhas, qui seraient le fait d'une alimentation par nappe profonde actuellement non identifiée.

#### COUVERTURES PLISSEES

Elles sont rattachées au Cambro-Ordovicien inférieur volcano-sédimentaire et métamorphisé. Les faciès extrêmement hétérogènes sont à dominante schisteuse, avec des niveaux gréseux, quartzitiques et des passées carbonatées : dolomies et cipolins, et comportent des termes volcaniques.

Il n'existe évidemment pas de nappe généralisée dans ces formations qui posent les mêmes problèmes de prospection hydrogéologique que le socle.

#### Les formations continentales secondaires et tertiaires

Dans la partie centrale du bassin, les formations du Continental Intercalaire (Crétacé inférieur) sont masquées par un puissant recouvrement sableux ; elles affleurent largement dans la partie nord du domaine d'étude (El Khnachigh).

C'est une série de grès argileux bariolés à faciès très variés que l'on retrouve dans le bassin du Niger (Tegama) et dans le bassin soudano-libyen sous l'appellation Nubian sandstones.

Cette formation est transgressive sur les formations primaires.

Dans la partie orientale et sud-orientale du bassin affleurent les formations du Continental Terminal (fin du Tertiaire). C'est une série de sables plus ou moins argileux et bariolés. Cette formation est transgressive sur l'Infracambrien et le Primaire en bassins individualisés (bassin de Segou, Gondo), ou repose sur le Continental Intercalaire (Nord Azaouad) ou le Paléogène (détroit soudanais).

Ces deux formations sont aquifères et contiennent des nappes généralisées qu'il est possible d'exploiter par forage. Les débits — peut-être un peu plus élevés pour le Continental Terminal que pour le Continental Intercalaire — sont de l'ordre de quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h. Les eaux sont en général de bonne qualité. Les études hydrogéologiques de détail entreprises sur ces formations sont très limitées contrairement au Niger où elles ont été très développées. Signalons les travaux de J. MARCHAND (B.R.G.M., 1954-1955) dans la région de Néma (Sud-Est de la Mauritanie).

#### Le Quaternaire

Il dessine une immense plage dans la boucle du Niger. C'est une formation de type fluvio-lacustre hétérogène avec des dépôts sableux plus ou moins grossiers et des intercalations argileuses. Cette répartition des faciès crée des discontinuités hydrogéologiques et scinde l'aquifère en de nombreuses nappes distinctes.



## Le bassin primaire de Guinée

Le Primaire dans le bassin guinéen affecte la forme d'un vaste synclinorium.

Le Cambro-Ordovicien-Ordovicien supérieur, constitué d'une série monotone de grès, massifs ou finement lités, souvent kaolineux, à stratification entrecroisée, dessine une auréole sur le pourtour du bassin.

Le Siluro-Dévonien, cœur du synclinorium, comporte à la base des faciès schisteux surmontés par une série gréseuse et quartziteuse.

Les données hydrogéologiques sur ces formations sont très limitées, les ressources étant le plus souvent exploitées dans les formations superficielles d'altération et d'alluvionnement.

## Les bassins primaires de la bordure du Sahara central

Le Primaire présente une certaine extension dans les bassins du Tamesma, du Djado et de Borkou-Ennedi ainsi que sous l'aspect de placages plus ou moins vastes reposant directement sur le socle précambrien.

*Dans le bassin de Tamesma*, deux unités doivent être distinguées ; à l'Ouest une série de synclinaux presque entièrement masqués par la couverture quaternaire et pratiquement inconnus du point de vue hydrogéologique, à l'Est le synclinal de Tin Seririne beaucoup mieux connu.

Le synclinal de Tin Seririne est constitué par une série compréhensive gréseuse s'étalant du Cambro-Ordovicien au Carbonifère. Quatre nappes superposées d'extension variable ont été mises en évidence (J. GREIGERT, B.R.G.M., 1968). De bas en haut :

- la nappe des grès ordoviciens, grès microconglomératiques friables ou fissurés dont les eaux sont dans l'ensemble peu minéralisées ; les débits peuvent atteindre quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h. Les eaux sont parfois jaillissantes ;
- la nappe des grès du Dévonien inférieur (grès d'Idekel) dont les eaux sont douces et en charge par rapport à celles de l'Ordovicien
- la nappe des grès de Farazekat (Viséen inférieur) dont le toit est constitué par une série argileuse (série du Talach) du Viséen supérieur ; son écoulement s'effectue vers le Sud-Ouest, avec une forte augmentation de la salinité vers le Sud ; les débits peuvent atteindre quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h ;
- la nappe des grès de Tagora qui se dédouble localement. Contenue dans une série à alternance de niveaux gréseux et argileux, cette nappe, douce et peu profonde dans la zone d'affleurement des grès, est le plus souvent saumâtre ailleurs.

*A l'ouest du Tenere de Taffassasset*, le synclinal primaire du Djado forme le prolongement du bassin saharien de Mourzouk. Les données hydrogéologiques sur cette région sont sommaires, mais on peut cependant affirmer l'existence sur toute l'étendue du domaine primaire de deux systèmes aquifères, l'un lié à une série gréseuse compréhensive (grès cambro-dévonien), l'autre aux grès continentaux de Madama (Westphalien).

*Dans le bassin de Borkou-Ennedi*, on distingue deux unités hydrogéologiques :

- une série compréhensive gréseuse (Cambro-Ordovicien-Viséen inférieur)
- une série marno-calcaire (Viséen supérieur - Westphalien).

La série gréseuse constitue un vaste réservoir. Les débits exploitables dans la nappe phréatique peuvent être élevés si la fissuration de l'aquifère est développée. Les eaux sont douces dans l'ensemble. Une nappe en charge alimentant probablement la nappe phréatique a été reconnue par forages profonds. Ses eaux sont également peu minéralisées.

La série marno-calcaire est très mal connue et rien ne permet actuellement d'affirmer qu'elle soit aquifère.

## Les bassins du Niger et du Tchad

Les bassins du Niger et du Tchad ont commencé à fonctionner au Jurassique et pour le Tchad la subsidence s'est poursuivie au Quaternaire.

### Bassin du Niger

Les formations secondaires et tertiaires concernées occupent la partie centrale de la carte d'orientation hydrogéologique. Il s'agit d'une fosse reliée au bassin de Taoudeni par le détroit soudanais.

Ces formations s'inscrivent dans le cadre stratigraphique suivant.

De bas en haut :

- |  |   |                                  |
|--|---|----------------------------------|
| — Permo-Jurassique                     | } | Continental Intercalaire (s. l.) |
| — Crétacé inférieur                    |   |                                  |
| — Crétacé moyen et supérieur           |   |                                  |
| — Paléogène                            |   |                                  |
| — Mio-Pliocène (Continental Terminal). |   |                                  |

#### Le Continental Intercalaire (s. l.)

On peut y distinguer :

- des formations permo-jurassiques constituées d'une alternance d'arkoses très grossières, de grès, d'argiles bariolées localisées à l'Ouest de l'Aïr,
- des formations du Crétacé inférieur représentées par des grès à stratification entrecroisée plus ou moins consolidés et argileux : « les grès de Tegama » qui couvrent toute la partie orientale du bassin (Tegama, Termit, Bilma).

Ces deux ensembles contiennent des nappes en charge localement jaillissantes. Le premier est relativement peu étendu, le second par contre couvre la plus grande partie du bassin du Niger, *c'est le plus grand système hydraulique du Niger.*

#### NAPPES DU PERMO-JURASSIQUE

Dans le synclinal de Tin Seririne on distingue deux séries.

De bas en haut :

- la série des grès d'Agadez constituée d'une alternance d'arkoses très grossières, de grès plus ou moins consolidés
- le groupe des argiles de l'Irhazer qui comporte des argilites bariolées gréseuses ou marneuses.

La série des grès contient plusieurs aquifères maintenus en charge par les argiles de l'Irhazer.

## **NAPPES DES GRES DE TEGAMA**

Le groupe de grès de Tegama comprend trois séries.

De bas en haut :

- la série de Farak : grès fins, grès grossiers à ciment argileux
- la série d'Echkar : grès à stratification entrecroisée
- la série de Tigguedi : grès de Tigguedi, hétérogènes, grossiers, à stratification entrecroisée.

L'ensemble est aquifère et on retrouve une nappe généralisée, indifféremment dans les différentes séries (F. PIRARD, B.R.G.M., 1964).

Le mur de cette nappe est constitué par les argiles de l'Irhazer ou le socle précambrien pénéplané. Le toit est formé d'argiles et de silts sur toute l'étendue du bassin. L'épaisseur moyenne des grès de Tegama est de l'ordre de 500 m au centre du bassin.

Les débits peuvent atteindre plusieurs dizaines, voire une centaine de m<sup>3</sup>/h. Considérés globalement, les débits ponctuels diminuent d'Ouest en Est.

## **Le Crétacé moyen et supérieur**

Il s'agit des formations comprises entre les grès de Tegama et la dalle des calcaires paléogènes. Cet ensemble forme un arc de cercle de direction sensiblement méridienne dans l'Ouest du Niger. Il est connu également dans le massif de Termit.

## **OUEST NIGERIE**

Trois niveaux semblent intéressants à exploiter.

De bas en haut de la série :

- les calcaires à silex du Turonien supérieur
- les couches sableuses de la série des calcaires du Turonien supérieur
- les marno-calcaires du Sénonien inférieur, moyen et supérieur.

## **BASSIN DE TERMIT**

Dans l'Est du Niger, à l'exception des massifs de Termit, le Crétacé moyen et supérieur est partout masqué par des formations sableuses dunaires. Actuellement il n'est pas exploité car la nappe des formations du Tchad (Quaternaire) fait largement face aux besoins. L'existence d'une ou plusieurs nappes reste donc à démontrer, la lithologie — grès fins à grossiers et argile — ne s'y opposant pas.

## **Le Paléogène**

Le Paléogène, connu uniquement dans l'Ouest du Niger, est concordant sur le Crétacé supérieur. Il comprend une série de calcaires et de marno-calcaires d'une trentaine de mètres d'épaisseur, encadrée par deux couches d'argile.

Dans la pratique les ressources de cette formation paraissent assez limitées. Les meilleurs débits, et encore sont-ils généralement faibles (500 à 700 l/h), sont obtenus dans les zones d'affleurement des calcaires, ceux-ci ayant subi une certaine évolution karstique.

## Le Continental Terminal

Le Continental Terminal est essentiellement constitué par des grès fins à grossiers à ciment argileux.

Dans le bassin du Niger deux unités peuvent être distinguées, l'une à l'Ouest largement affleurante, l'autre à l'Est le plus souvent masquée par des recouvrements dunaires quaternaires.

A l'Ouest, il existe un système de nappes libres ou en charge qui couvre la presque totalité de la plage d'affleurement exception faite de ses bordures (biseaux secs). Ce système est exploité par quelques forages qui ont permis de mettre en évidence l'existence de deux nappes distinctes, l'une localisée à la base du Continental Terminal, l'autre dans sa partie moyenne. Rien ne permet cependant (étant donné l'hétérogénéité du matériau aquifère) d'affirmer que les nappes sont continues.

A l'Est, le Continental Terminal, de faciès grés-argileux, parfois conglomératique, est « emboîté » dans le Continental Intercalaire dont il ne se distingue pas. En l'état actuel des connaissances les deux formations continentales semblent recéler une seule et même nappe.

## Bassin du Tchad

Ce bassin est le prolongement oriental de celui du Niger. Il présente cependant la particularité d'être demeuré subsident au Quaternaire avec l'enfoncement progressif de la cuvette tchadienne et l'accumulation de puissants dépôts.

On est conduit à distinguer :

- les formations du Continental Terminal qui dessinent une auréole autour de la cuvette du Tchad, s'appuyant sur le socle (Guera Ouaddaï) au Sud-Est et à l'Est ou sur le Primaire (Borkou-Ennedi) au Nord,
- les formations du Quaternaire (« Formations du Tchad ») qui occupent tout autour du lac le centre de la dépression tchadienne.

## Le Continental Terminal

Composée de grès argileux, de grès plus ou moins grossiers et d'argiles bariolées, cette formation, aquifère dans son ensemble, constitue un immense réservoir pour les régions du Koros, de Salamat, de Batha et des Pays Bas (J.-L. SCHNEIDER, B.R.G.M., 1969).

Une nappe phréatique généralisée a été mise en évidence. Les eaux sont dans l'ensemble faiblement minéralisées, exception faite de la région des Pays Bas où, par effet évaporatoire, les eaux sont plus concentrées. La perméabilité de cette formation est très variable en raison même de l'hétérogénéité du matériau aquifère.

Une nappe profonde en charge, alimentant pour une bonne part la nappe phréatique, a été décelée par deux forages dans la partie inférieure du Continental Terminal. Les débits sont assez faibles (de l'ordre d'une dizaine de m<sup>3</sup>/h). Rien ne permet actuellement d'affirmer la continuité de cette nappe.

## Le Quaternaire

Au Niger sud-oriental (F. PIRARD, B.R.G.M.) à partir de forages, a été définie une stratigraphie de la partie supérieure (350 à 400 m) des formations du Tchad. De bas en haut :

- une série détritique avec sables moyens à grossiers
- une série d'argiles bleues et d'argiles massives à gypse et diatomites
- une série argilo-sableuse
- une série sableuse à caractère deltaïque.

Cette dernière série contient une nappe phréatique subaffleurante en continuité avec la nappe du Continental Terminal qui cerne les formations quaternaires de la cuvette du Tchad.

Sous cette nappe phréatique, une nappe en charge, jaillissante sur le pourtour du lac, a été décelée par forages. Elle est captée à des profondeurs variant entre 250 et 375 m (série détritique). Au Nigeria une nappe en charge plus profonde encore a été découverte par sondages.

## Le bassin sénégal-mauritanien

Les formations les plus anciennes connues à l'affleurement appartiennent au Crétacé terminal (Maestrichtien) et apparaissent au col de la presqu'île de Dakar. Les sondages pétroliers ont montré cependant que la base du cycle sédimentaire était représentée par le Jurassique supérieur.

La succession la plus complète s'établirait ainsi.

Quaternaire

Tertiaire .....

{ Continental Terminal  
Oligo-Miocène  
Eocène  
Paléocène

Secondaire .....

{ Crétacé supérieur  
Crétacé inférieur  
Jurassique supérieur.

D'un point de vue strictement hydrogéologique, les formations ante-Crétacé terminal (Maestrichtien) ne présentent aucun intérêt ; elles ne seront donc pas abordées.

## Le Maestrichtien

Première série affleurante (massif de Ndiass au col de la presqu'île de Dakar), il montre de grandes variations d'épaisseur et de faciès, passant d'une centaine de mètres à plus de 400 m de la bordure du bassin vers l'Ouest, les faciès détritiques (sables plus ou moins grossiers) s'indurant et s'enrichissant en niveaux argileux (grès plus ou moins grossiers à intercalations argileuses). A l'Ouest immédiat du massif de Ndiass, par le jeu d'une flexure continentale, le Maestrichtien s'enfonce et s'épaissit brutalement avec cette fois des faciès essentiellement argileux.

Les formations sableuses et gréseuses du Maestrichtien contiennent une nappe généralisée et extrêmement puissante, dite « nappe maestrichtienne » qui s'étend sous la plus grande partie du Sénégal et dans l'Ouest de la Mauritanie. C'est au Sénégal qu'elle est le mieux connue (M. AUDIBERT, B.R.G.M., 1966). En Mauritanie elle n'a été rencontrée que par un seul forage.

Au Sénégal, la couche aquifère a une épaisseur moyenne de 250 m ; elle est maintenue captive par les calcaires paléocènes compacts qui la surmontent. Son exploitation nécessite des sondages de l'ordre de 250 à 400 m de profondeur. A l'heure actuelle, une centaine de forages l'exploitent pour l'alimentation en eau des centres et l'abreuvement du bétail.

Du point de vue qualité chimique des eaux, on doit distinguer 3 zones :

- à l'Est : une plage douce (200 à 500 mg/l)
- au centre, de l'embouchure de la Gambie au delta du fleuve Sénégal : une plage saumâtre (1 à 4 mg/l)
- à l'Ouest : une plage douce (200 à 500 mg/l).

Les débits susceptibles d'être obtenus par forage d'exploitation varient suivant les zones de 100 à 200 m<sup>3</sup>/h.

La réalimentation actuelle de cette nappe est probable mais non quantifiée. De toute façon, compte tenu des réserves gigantesques, l'exploitation peut être accrue sensiblement sans que l'on ait trop à se soucier de la réalimentation. Cependant, il convient de faire certaines réserves. Si l'exploitation dispersée telle qu'elle est pratiquée actuellement peut être poursuivie sans contrainte, il en va différemment pour des projets de mise en valeur agricole qui exigent ponctuellement de très grandes quantités d'eau. Dans ce cas, en effet, il conviendrait pour chaque réalisation d'effectuer une étude hydrogéologique avec simulation sur ordinateur afin de définir le dispositif d'exploitation optimale et d'analyser les répercussions sur le niveau de la nappe.

### Le Paléocène

Il n'affleure que sur le pourtour du massif de Ndiass. Il est constitué sous la plus grande partie du Sénégal par des calcaires zoogènes, oolithiques et crayeux. Immédiatement à l'Ouest du massif de Ndiass, il s'enfonce et s'épaissit brutalement en devenant essentiellement argileux.

Ces calcaires sont le plus souvent compacts et n'offrent alors que de faibles ressources.

Par contre lorsqu'ils sont karstiques — ce qui est le cas de part et d'autre du massif de Ndiass — ils constituent un excellent aquifère, qui joue de surcroît le rôle d'une crépine naturelle vis-à-vis de la nappe « maestrichtienne » sous-jacente (A. MARTIN, B.R.G.M., 1970).

Les débits ponctuels sont compris entre 200 et 500 m<sup>3</sup>/h. Actuellement une partie de l'alimentation en eau de Dakar (40 000 m<sup>3</sup>/jour) est assurée par l'exploitation de ces calcaires.

### L'Eocène

Dans la partie sénégalaise du bassin, l'Eocène a été subdivisé en trois étages.

- L'Eocène inférieur (ou Yprésien) présente des faciès variés dont le principal est une séquence argileuse.
- L'Eocène moyen (ou Lutétien) est très largement représenté dans le bassin, tant en Mauritanie qu'au Sénégal. Ses faciès sont multiples : calcaires, dolomies, marno-calcaires, argiles à l'intérieur du bassin, grès quartzites ou grès ferrugineux en bordure.
- L'Eocène supérieur affecte de petits golfes côtiers ; il est représenté par des argiles beiges.

Seul l'Eocène moyen sous son faciès calcaire présente un intérêt hydrogéologique, les autres étages étant pratiquement stériles.

En bordure de littoral et selon une vaste plage, les calcaires sont karstifiés sous une couverture quaternaire sableuse et contiennent une nappe pratiquement généralisée cependant assez mal connue dans ses détails.

Les forages qui y ont été foncés ont donné des débits fort intéressants atteignant dans certains cas 100 m<sup>3</sup>/h.

### **L'Oligo-Miocène**

Il représente un ancien golfe qui couvrait la Gambie et l'extrême Sud du Sénégal. Il comporte des calcaires surmontés par des marnes grises et des argiles sableuses.

Ses caractéristiques hydrogéologiques ne sont pas connues.

### **Le Continental Terminal**

Il occupe une très vaste superficie au Sénégal et en Mauritanie, en couverture des formations éocènes. Il est formé essentiellement de sables argileux dans lesquels s'intercalent des horizons franchement gréseux ainsi que des niveaux de latérite ferrugineuse plus ou moins compacte.

Ces formations sont aquifères et contiennent une nappe généralisée. En Mauritanie et dans le Sénégal central, cette nappe non réalimentée est profondément déprimée par rapport au niveau de la mer (— 20 à — 40 m) avec des profondeurs d'eau de 50 à 70 m, ce qui, au Sénégal, lui fait préférer le captage de la « nappe maestrichtienne » qui, elle, en charge, présente des niveaux plus proches du sol.

A l'extrême Sud du Sénégal, les précipitations plus élevées assurent une réalimentation annuelle de la nappe.

En Mauritanie, la nappe du Continental Terminal constitue la seule ressource pour l'alimentation des villes du littoral et de l'intérieur : Nouakchott, Nouadhibou, Boutilimit, etc. Cette nappe est limitée vers l'Est par un biseau sec (remontée du substratum), vers l'Ouest par un biseau salé qui pénètre profondément à l'intérieur du pays.

Au Sénégal, dans l'Est du pays, cette nappe n'est actuellement exploitée que pour les besoins ruraux ; à l'extrême Sud, par contre, elle assure l'alimentation des centres urbains.

### **Le Quaternaire**

Hormis les grandes zones dunaires des bassins de Taoudeni et du Niger (laissées en blanc), le Quaternaire n'a été représenté cartographiquement que lorsqu'il présentait un intérêt hydrogéologique, c'est-à-dire selon la bordure du littoral sénégalais de Dakar au fleuve Sénégal.

Sous la presqu'île même de Dakar, le Quaternaire ancien (Inchirien > 30 000 BP), sableux, coiffé par des coulées volcaniques, recèle une nappe utilisée pour les besoins de l'alimentation de Dakar. Sa production équilibrée par les apports des pluies avoisine 18 000 m<sup>3</sup>/j.

Dans la presqu'île du Cap Vert, les sables dunaires (Ogolien = 18 000 BP) sont exploités également pour les besoins de Dakar et produisent 10 000 m<sup>3</sup>/j, production équilibrée par les apports des pluies.

Le long du littoral, entre le Cap Vert et le fleuve Sénégal, les sables dunaires ogoliens recèlent une nappe généralisée utilisée essentiellement pour les besoins des petits centres ruraux.

## CARTES GEOLOGIQUES

- 1960 — **B.R.G.M.** — Carte géologique de l'Afrique Occidentale au 1/2 000 000 (9 feuilles) (Républiques de Côte-d'Ivoire, du Dahomey, de Guinée, de Haute-Volta, du Mali, de Mauritanie, du Niger, du Sénégal et du Togo). Publication B.R.G.M.
- 1969 — **B.R.G.M.** — Carte géologique de la République Islamique de Mauritanie au 1/1 000.000 (6 feuilles). Arch. Direction des Mines et de la Géologie de la République Islamique de Mauritanie.
- 1965 — **BARRERE J. et SLANSKY M.** — Notice explicative de la carte géologique de l'Afrique Occidentale au 1/2 000 000 (Républiques de Côte-d'Ivoire, du Dahomey, de Guinée, de Haute-Volta, du Mali, de Mauritanie, du Niger, du Sénégal et du Togo). Mémoires B.R.G.M. n° 29.
- 1967 — **BLACK R.** — Sur l'ordonnance des chaînes métamorphiques en Afrique Occidentale. Chronique des Mines et de la Recherche Minière n° 364.
- 1966 — **GREIGERT J. et PUGNET R.** — Carte géologique de la République du Niger au 1/2 000 000 (avec notice explicative). Arch. Direction des Mines et de la Géologie du Niger. Publication B.R.G.M.
- 1967 — **GREIGERT J. et PUGNET R.** — Essai de description des formations géologiques de la République du Niger. Mémoires B.R.G.M. n° 48.
- 1967 — **REICHEL T.** — Carte géologique du Cameroun au 1/500 000 (Républiques du Mali, de Haute-Volta et du Niger). Publication B.R.G.M.
- 1966 — **REYRE D.** — Bassins sédimentaires du littoral africain. Littoral atlantique. Publication ASGA.
- 1968 — **MESTRAUD J.-L.** — Atlas International de l'Ouest Africain. Planche 7 : Géologie, au 1/5 000 000.

## CARTES HYDROGEOLOGIQUES

### AFRIQUE OCCIDENTALE

- 1969 — **BISCALDI R.** — Carte hydrogéologique des terrains éruptifs et métamorphiques d'Afrique Occidentale au 1/2 000 000, Côte-d'Ivoire, Dahomey, Guinée, Libéria, Mali, Niger, Nigeria, Sierra Leone. Publ. B.R.G.M. Arch. C.I.E.H. (in rapp. inédit DAK 67 A 14).



## MAURITANIE

- 1962 — **PALOC H.** — Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire du Sud-Ouest Mauritanien au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. Arch. Ministère Planification R.I.M. (in DAK 62 A 46).
- 1966 — **TROMPETTE R., MOUSSU H. (Collab. MARGAT J.).** — Carte hydrogéologique Faraoun, Chingetti, Atar au 1/200 000.  
Publ. B.R.G.M. (avec notice explicative) Arch. Ministère Construction, T.P. et Transports R.I.M.
- 1962 — **TROMPETTE R.** — Carte hydrogéologique de l'Adrar mauritanien (partie méridionale) au 1/200 000.  
Publ. B.R.G.M. (in rapport inédit DAK 62 A 45), Arch. Serv. Hydraulique, R.I.M.
- 1965 — **PLOTE H.** — Carte hydrogéologique de la région de Fort-Gouraud-Oummd' Ferat au 1/200 000.  
Publ. B.R.G.M. (avec notice explicative), Arch. Ministère Construction, T.P. et Transports, R.I.M.

## NIGER

- 1964 — **PIRARD F.** — Carte de reconnaissance hydrogéologique du Niger sud-oriental au 1/1 000 000.  
Publ. B.R.G.M.
- 1965 — **B.F.B./B.R.G.M.** — Carte hydrogéologique du Niger (Sud-Ouest) au 1/500 000.  
B.R.G.M. (carte inédite exposée réunion A.I.H., Hanovre).

## SENEGAL

- 1962 — **DEGALLIER R.** — Carte hydrogéologique du Ferlo Septentrional au 1/500 000.  
In Mémoires B.R.G.M., n° 19.
- 1965 — **DEPAGNE J., MOUSSU H. (Collab. MARGAT J.).** — Carte hydrogéologique de la République du Sénégal au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M., Arch. Ministère Energie et Hydraulique République du Sénégal.
- 1966 — **DEPAGNE J., MOUSSU H., MARTIN A., NAPIAS J.-C.** — Carte hydrochimique des nappes phréatiques de la République du Sénégal au 1/1 000 000.  
Publ. B.R.G.M., Arch. Ministère Energie et Hydraulique, République du Sénégal.
- 1968 — **MARTIN A.** — Carte hydrogéologique de la presqu'île du Cap Vert (3 feuilles) au 1/50 000 et carte hydrochimique de la presqu'île du Cap Vert au 1/100 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C.
- 1969 — **B.R.G.M.** — Etude hydrogéologique en vue du développement pastoral dans le Ferlo, la région ouest du lac de Guiers et la région ouest de Tambacounda. Carte hydrogéologique de synthèse au 1/500 000.  
(In rapport inédit B.R.G.M. 69 DAK 6) Arch. Ministère Développement rural, République du Sénégal.

## TCHAD

- 1963 — **TORRENT H.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Moundou au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1965 — **MERMILLOD J.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Aouk Salamat au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1965 — **SCHNEIDER J.-L.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Mao au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite, 1966), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1966 — **SCHNEIDER J.-L.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Fort Lamy au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1966 — **TORRENT H.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Bongor au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1966 — **ABADIE J., GAGNIERE G.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Batha au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite LAM 67 A2), Arch. Ministère T.P., République du Tchad.
- 1966 — **SCHNEIDER J.-L.** — Carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille Pays-Bas-Largeau au 1/500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite 68 YAO 005 LAM 1968).
- 1969 — **SCHNEIDER J.-L.** — Carte hydrogéologique de la République du Tchad au 1/1 500 000.  
Publ. B.R.G.M. — F.A.C. (avec notice explicative inédite 70 RME 029).

*Les différents travaux exécutés par le B.R.G.M. pour le compte des Etats peuvent être consultés au Centre de Documentation de cet Organisme.*

***LES ACTIVITÉS  
DE RECHERCHES AGRONOMIQUES  
APPLIQUÉES AUX PRODUCTIONS  
VÉGÉTALES ET ANIMALES***

**GERDAT**



## LES ACTIVITES DE RECHERCHES AGRONOMIQUES APPLIQUEES AUX PRODUCTIONS VEGETALES ET ANIMALES

Les travaux conduits par les chercheurs français intéressant le développement rural de l'Afrique tropicale sèche, dépendent pour l'essentiel d'organismes spécialisés dans une production ou un groupe de productions, et orientés au travers de programmes à court ou moyen terme vers l'application aussi rapide que possible de leurs recherches. Ce sont :

a) dans le domaine agricole proprement dit :

I.F.A.C. : Institut Français de recherches fruitières Outre-Mer,

I.R.C.T. : Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques,

I.R.H.O. : Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux,

tous trois créés en 1942, et, depuis 1960, dans le champ des cultures vivrières et des problèmes généraux de l'agronomie qui s'y rapportent :

I.R.A.T. : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières ;

b) dans le domaine de l'élevage :

I.E.M.V.T. : Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux, succédant en 1948 à l'Institut de Médecine Vétérinaire Exotique, créé en 1928 ;

c) dans le domaine des eaux et forêts :

C.T.F.T. : Centre Technique Forestier Tropical,

d) dans le domaine du machinisme agricole :

C.E.E.M.A.T. : Centre d'Etude et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical, créé en 1962.

Tous ces organismes sont, depuis 1970, associés au sein du Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.), qui assure la coordination de leurs actions.

Ces activités sont également le fait de chercheurs insérés, soit dans les services gouvernementaux ayant vocation en matière de recherches, soit dans des structures de développement agricole.

Ces travaux de recherche entrepris en fonction d'objectifs de développement agricole définis par les Gouvernements concernés en ont respecté les priorités. Ils ont présenté, soit un intérêt régional commun à plusieurs pays de la zone de l'Afrique sèche au Sud du Sahara ou débordant des limites de cette zone, soit un intérêt local limité à un seul pays de cette zone.

L'action des organismes français s'appuie sur un dispositif constitué de Centres de recherches, de stations et de laboratoires mis par les Gouvernements à leur disposition, pour exécuter leurs programmes dans le cadre d'accords de coopération, et sur un réseau de points d'essais répartis en vue d'une représentativité optimale de la gamme écologique.

Les Centres et Stations de recherches de cette zone, et les caractéristiques écologiques qu'ils représentent, sont cités dans :

« Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique occidentale », par J. COCHEME et P. FRANQUIN (Rome, 1967) étude conjointe F.A.O./UNESCO/O.M.M.

Ce sont :

**Au Sénégal :**

- Centre de Recherches agronomiques de Bambey (I.R.A.T., I.R.H.O.).
- Stations de Richard-Toll (I.R.A.T.), Guédé (I.R.A.T.).
- Stations de Sefa et Djibélor en Casamance (I.R.A.T., 1 000 à 1 200 mm de pluies).
- Stations de Darou et Louga (I.R.H.O.).
- Station de Keur Moussa Lamine (I.F.A.C. depuis 1966).
- Laboratoire National de l'Elevage de Dakar-Hann (I.E.M.V.T.).
- Réseau de points d'essais du C.T.F.T., échelonnés, suivant les caractéristiques écologiques, du Nord (300 mm de pluies en 5 mois) au Sud et à l'Est (600 à 800 mm en 5 à 7 mois).

**En Mauritanie :**

- Laboratoire entomologique de Nouakchott (I.F.A.C.).
- Stations de Kaédi (I.R.A.T. avec une unité expérimentale I.F.A.C. depuis 1971) et de Kankossa (I.F.A.C.).

**Au Mali :**

- Station fruitière de Bamako (I.F.A.C., depuis 1961).
- Centre de Bamako-Sotuba (avant 1960 I.E.M.V.T., puis Gouvernement, avec une Station I.R.A.T. depuis 1964).
- Station d'Ibetemi-Mopti (I.R.A.T., riz flottants).
- Station de Kogoni (I.R.A.T., riz irrigués et autres cultures vivrières, et I.R.C.T.).
- Station de M'Pesoba (I.R.C.T.).
- Point d'essai de Katibougou (I.R.H.O. depuis 1972) auprès de l'Ecole d'agriculture.
- Réseau de points d'expérimentation dans les diverses régions agricoles du pays, dont une Station fruitière à Baguineda près de Bamako, et une autre à Faroko près de Sikasso.

**Au Niger :**

- Laboratoire d'Elevage de Niamey (I.E.M.V.T.).
- Laboratoire agronomique de Niamey (I.R.A.T.).
- Stations de Tarna et Kolo (I.R.A.T.).
- Station fruitière de Gabougouro (I.F.A.C.) près de Niamey.
- Station de Ngounda (C.T.F.T.) relayant celle d'Allokoto et Centre C.T.F.T. du Niger.
- Réseau de points d'essais pour le coton (I.R.C.T.), les cultures fruitières (I.F.A.C.), vivrières (I.R.A.T.) et arachidières (I.R.H.O.)

**En Haute-Volta :**

- Station de Saria (I.R.A.T.), avec des points d'essais (I.R.H.O. et I.R.C.T.).
- Station de Niangoloko (I.R.H.O.).
- Station de Farako-Ba près de Bobo-Dioulasso (I.R.A.T. avec des essais I.R.C.T.).
- Station Forestière de Linoghin, relayant celle de Gampela et Centre C.T.F.T. de Haute-Volta, et un réseau de points d'essais cotonniers, arachidières, fruitiers et vivriers dont les petites Stations de Kamboinsé (riz), et Mogtedo (cultures irriguées).

**Au Nord Cameroun :**

- Centre de recherches de Maroua (I.R.C.T. et I.R.A.T.).
- Station de Guétalé (naguère I.R.A.T.).
- Station rizicole de Toukou (I.R.A.T.).

**Au Tchad :**

- Laboratoire de l'Elevage de Farcha (I.E.M.V.T.).
- Station de Bebedja (I.R.C.T.) et 30 points d'essais cotonniers.
- Station de Deli (Service agricole) et un réseau de points d'essais sur les cultures vivrières.

Le nombre et la répartition des stations et points d'essais sont l'illustration de l'effort d'adaption des travaux de recherches aux conditions du milieu physique et humain, effort indispensable à toute entreprise sérieuse de mise en valeur agricole.

Les recherches des Instituts groupés au sein du G.E.R.D.A.T., de caractère essentiellement appliqué au développement agricole, ont dû souvent aborder des domaines scientifiques de base, elles sont de ce fait largement étayées par les inventaires, études et recherches entrepris par l'O.R.S.T.O.M. et le B.R.G.M.

Seront successivement évoquées, les recherches sur :

- 1 — l'étude et la transformation du milieu physique : les sols, les eaux et les études climatologiques ;
- 2 — les céréales : mil, sorgho, riz, et, secondairement, maïs et blé ;
- 3 — l'arachide ;
- 4 — les légumineuses alimentaires autres que l'arachide ;
- 5 — le cotonnier ;
- 6 — la canne à sucre ;
- 7 — les cultures fruitières ;
- 8 — les cultures maraîchères ;
- 9 — les cultures fourragères et les pâturages ;
- 10 — l'élevage et la médecine vétérinaire ;
- 11 — les forêts et la pêche continentale ;
- 12 — le machinisme agricole ;
- 13 — la protection des stocks de produits ;
- 14 — l'intensification des systèmes cultureux.

## ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE LES SOLS, LE CLIMAT, LES EAUX

### LES SOLS :

#### Les inventaires

Partant des grands inventaires effectués notamment par l'O.R.S.T.O.M. dans la région : couverture cartographique pédologique presque générale au 1/500 000, et partielle au 1/200 000 et au 1/100 000 ; des études, prospections et cartes pédologiques de détail, au 1/50 000 et parfois au 1/20 000 et 1/10 000, ont concerné les pôles de développement agricole. Les interactions « morphogenèse-pedogenèse » y ont souvent été confrontées, et illustrées en cartographie.

Préalables indispensables des opérations de mise en valeur, ces études pédologiques de détail ont contribué à guider l'expérimentation agronomique et à définir les aptitudes culturales des sols. On peut citer celles qui intéressent :

la vallée du fleuve Sénégal,  
les régions agricoles du Centre, de l'Est et du Sud-Sénégal,  
le delta central nigérien au Mali,  
la cuvette tchadienne,  
les « goulbis » et « maggias » du Niger,  
les vallées des Volta,  
les sols du Nord-Cameroun, etc.

## Les recherches sur l'érosion et sur la conservation des sols

Ces recherches, largement développées, notamment au Niger, en Haute-Volta et au Sénégal, ont porté sur les facteurs de l'érosion, et sur les méthodes simples et peu coûteuses de protection.

En particulier les expérimentations effectuées sur les Stations d'Allokoto au Niger sur vertisols lithomorphes, à Gampela en Haute-Volta sur sols ferrugineux tropicaux, à Ngounda au Niger sur sols sableux, et à Linoghin en Haute-Volta sur sols bruns, ont permis de démontrer qu'on peut doubler, et parfois tripler, les rendements de certaines cultures sèches, comme le sorgho, l'arachide ou le cotonnier, en utilisant des méthodes simples anti-érosives de culture, réalisables généralement par le paysan lui-même, avec un encadrement réduit, et sans l'aide d'importants moyens mécaniques tels que le grader ou le bulldozer.

Ainsi, sur un terrain aménagé comportant des bourrelets de terre tous les 0,40 m de dénivelée, avec fossé aval, le labour, effectué à la charrue réversible en suivant les courbes de niveau et en déversant toujours vers l'aval, permet la constitution progressive de terrasses horizontales, sur lesquelles les rendements peuvent atteindre le double, voire le triple de ce qu'ils sont en culture traditionnelle sur sol en pente, même si cette pente n'est que de 1 % sur sols ferrugineux tropicaux lessivés.

Les mesures d'érosion ont été poursuivies, en un même point, pendant cinq à sept ans, en sorte que les résultats soient indépendants de l'irrégularité annuelle des pluies, et généralisables à la région. Elles ont permis de constater que les dix premières grandes pluies de la saison réalisant la quasi-totalité de l'érosion annuelle sont les plus nocives, et que la susceptibilité à l'érosion varie beaucoup avec la nature des sols, ceux-ci étant d'autant plus sensibles qu'ils sont moins perméables.

Enfin l'effet « splash » des gouttes de pluie sur les parcelles de terre, qui se détachent et sont entraînées par le ruissellement, a été étudié sur divers types de sols.

## Le travail et la fertilisation des sols

Au-delà des inventaires et des études d'érosion et de conservation des sols, de nombreux travaux, réalisés notamment au Sénégal, et systématiquement étendus aux autres pays, ont porté sur la mise au point des techniques de l'amélioration foncière des sols, en intégrant les actions physiques, chimiques et biochimiques ;

- influence du travail du sol et de son intensité ; époque des labours, et interaction date des semis/époque labour ; influence sur le développement racinaire et le rendement ;
- équilibres de fertilité minérale des sols : correction des carences minérales décelées qualitativement ; étude de la fertilisation pour différents niveaux de productivité et de rentabilité ;
- la matière organique et son évolution ; la dynamique de l'azote dans le sol ; études qui ont permis d'éclaircir certains phénomènes jusqu'alors mal expliqués : immobilisation de l'azote sous forme organique en hivernage, processus de minéralisation au niveau de la rhizosphère ;
- les successions culturales et les rotations ;
- les techniques culturales en fonction du type de sol et pour des conditions écologiques locales particulières : cultures de sorgho de décrue dans la vallée du Sénégal, sorgho repiqué du Nord-Cameroun, riziculture pluviale des sols « hardé » du Nord-Cameroun.

A titre d'exemple, l'application simultanée des fumures et du travail du sol a permis d'accroître les rendements de mil et sorgho du *Sénégal* comme suit : (en kg/ha).

Culture	Région	Sans	Avec
Mil	Nord et Centre Casamance	450 1 100	1 000 2 500
Sorgho	Centre et Est Casamance	900 à 1 100 1 600	2 100 à 2 400 2 200

Les recherches sur la fertilisation des sols ont été systématiquement abordées dans le cadre de chaque production sous l'angle de la fumure minérale, de l'évolution physique, chimique et biochimique des sols, et du comportement des sols à l'eau d'irrigation ou de pluie.

## LE CLIMAT ET LA BIOCLIMATOLOGIE

La connaissance précise des divisions agroclimatiques de la région considérée est basée sur un important réseau de points d'observations et de mesures climatologiques, notamment celui des Stations agromomiques auquel l'étude conjointe F.A.O./UNESCO/O.M.M. de J. COCHEME et P. FRANQUIN, citée ci-dessus fait largement référence.

Des études bioclimatiques complémentaires se sont développées dans chacun des pays de la région, et notamment au Sénégal (Bambey, Richard-Toll), au Niger (Tarna), en Haute-Volta (Mogtedo), au Mali (Delta central du Niger), en liaison avec les études générales de l'O.R.S.T.O.M. sur le sujet, en vue de l'ajustement des formules et des méthodes de détermination des besoins en eau de certaines cultures irriguées : coton, canne à sucre, céréales. Les mesures ont notamment porté sur l'évapotranspiration maximale et l'évapotranspiration réelle, en relation avec l'évapotranspiration potentielle et l'évaporation en bacs.

## L'UTILISATION AGRICOLE DES EAUX

Une utilisation optimale des ressources en eaux de pluie, de surface, ou souterraines, étant pour ces régions un élément essentiel de progrès, il s'agissait dans la mesure du possible d'entreprendre l'étude d'une véritable « économie » de l'eau.

En liaison avec les études générales de l'O.R.S.T.O.M. sur le problème de l'eau, les recherches ont porté sur les thèmes suivants :

- besoins en eau des cultures (canne à sucre, cotonnier, céréales et cultures vivrières diverses) ;
- rationnement en eau des cultures ;
- dynamique de l'eau, notamment sous plantation forestière, et sous différentes cultures ;
- comportement des sols devant l'eau, évolution de l'humidité des sols dans l'année et par type de sol, étude de l'infiltration sous diverses conditions de travail et de couverture du sol ;
- réactions physiologiques de certaines espèces ou associations végétales vis-à-vis de la sécheresse (forêts, arachide, riz pluvial, etc.) ;
- techniques d'irrigation (raie, aspersion).



Elles ont été conduites principalement :

au Nord-Sénégal (Richard-Toll), au Niger (Tarna), en Haute-Volta (Mogtedo, Gonsé), au Mali (delta central du Niger).



*Irrigation du riz  
à Mogtedo (Haute Volta)  
par canal et multisiphons  
en plastique.*

*(Cliché IRAT, par Jenny).*

Les résultats obtenus ont notamment permis d'entreprendre des cultures de canne à sucre dans plusieurs de ces pays, d'ajuster les besoins et ressources en eau de la culture cotonnière, d'avancer dans la connaissance des conditions d'irrigation de certaines autres cultures (tomate, niébé, sorgho, maïs), de déterminer les phases critiques du développement de ces cultures au point de vue de leur alimentation hydrique, et les relations eau/sol/plante en général.

Beaucoup reste à faire dans ce domaine de l'eau pour la mise en valeur agricole de l'Afrique sèche. Mais les résultats présents constituent déjà une contribution précieuse au progrès agricole de cette région.

## LES CEREALES

Ces cultures ont une importance économique et sociale considérable dans cette région d'Afrique où elles constituent la base essentielle de l'alimentation des populations.

Les disponibilités annuelles en grains de la zone sèche sont — toutes espèces mêlées — de l'ordre de 2 à 3 quintaux par habitant, supérieures à celles de la zone humide — par ailleurs bien pourvue en racines et tubercules — généralement comprises entre 1 à 2 quintaux par habitant.

Pour faire face à l'accroissement de la consommation, lié à l'accroissement démographique, et pour tenter de résorber les importations croissantes de céréales, l'effort régional de recherche, déjà important dans le passé, s'accroît aujourd'hui en liaison avec les résultats obtenus à l'intérieur de l'Afrique ; il porte principalement sur l'amélioration variétale (introductions, sélection, obtention d'hybrides) sans négliger

toutefois la protection phytosanitaire (rarement prioritaire dans cette région), les techniques culturales, la fertilisation, ni la technologie alimentaire.

#### *Amélioration des variétés de culture traditionnelle locale :*

Cette première phase a permis d'obtenir rapidement des variétés nouvelles n'exigeant pas de transformation profonde des techniques de culture, et partant facilement vulgarisables. Elle a conduit à une amélioration de 25 à 35 % du rendement à l'unité de surface, du matériel végétal de départ.

#### *Création d'un matériel végétal « moderne » :*

Le travail du sélectionneur est beaucoup plus long. Les variétés créées ne sont utilisables qu'avec une amélioration profonde de techniques culturales. En revanche les gains de rendement sont considérables.

Une importante « banque de gènes » a été constituée au Sénégal pour l'ensemble de la région. C'est ainsi, par exemple, que sur les 1 600 numéros de sorgho et de mil introduits depuis 20 ans dans ce pays, on conserve encore au Centre de Bambey 550 numéros de sorgho et 50 numéros de mil. L'utilisation d'une chambre froide permet de ne cultiver ce matériel que tous les trois ans.

## LE SORGHO ET LE MIL PENICILLAIRE

Ce sont les céréales les plus importantes de la région, tant en raison des surfaces emblavées (environ 8 millions d'ha pour les six pays considérés, Sénégal, Mauritanie, Mali, Niger, Haute-Volta, Tchad, auxquels il convient d'ajouter le Nord-Cameroun), que parce qu'elles y constituent traditionnellement la base de l'alimentation humaine, pour plus de 80 % de leur production.

Celle-ci a été la suivante au cours des dernières années (en tonnes) pour ces deux espèces ensemble :

	<i>Moyenne 1960/61</i>	<i>Moyenne 1970/71</i>
Haute-Volta	695 000	960 000
Mali	880 000	750 000
Niger	1 150 000	1 220 000
Sénégal	419 000	528 000
Tchad	900 000 *	715 000

\* = incertain

(Source : Annuaire de la Production O.A.A. 1971)

En fait l'augmentation de cette production est faible (10 à 12 % en 10 ans). Elle est inférieure à l'accroissement de population (2,5 à 2,8 % par an), ce qui confère à la recherche dans ce domaine un caractère tout à fait prioritaire.

Les travaux de recherches ont principalement porté sur l'amélioration du matériel végétal, selon des schémas différents suivant qu'il s'agissait du sorgho, espèce autogame ou du mil, espèce allogame. Une certaine différenciation géographique des programmes de recherche portant sur les variétés tardives ou hâtives suivant la pluviosité s'est imposée pour ces deux céréales. Les recherches ont touché dans certains

cas la résistance aux maladies et aux insectes. Enfin la prise en considération des critères de qualité du grain, tant en ce qui concerne la valeur protéique que les propriétés technologiques, a donné aux programmes de sélection une orientation nouvelle.

#### **L'amélioration du sorgho s'est fixé pour objectifs :**

- le rendement à l'unité de surface et le rendement en farine,
- la réduction de la taille de la plante,
- la qualité nutritive du grain (valeur protéique),
- l'absence de coloration,
- la résistance aux moisissures et aux insectes.

En premier lieu, une prospection systématique d'écotypes au sein des variétés locales, a été entreprise, et leur sélection réalisée, dans chacun des pays de la région, sur la base de l'adaptation écologique. Les possibilités offertes par cette sélection dans les variétés traditionnelles, se sont révélées limitées. Les gains de rendements ne dépassent guère 15 à 25 %.

Des introductions de variétés étrangères ont été largement pratiquées, donnant parfois des résultats intéressants.

Mais le progrès le plus marquant reste la voie de l'hybridation et de la création de matériel végétal nouveau. Outre les schémas de création d'hybrides utilisables seulement en première génération, qui ne peuvent avoir actuellement qu'un intérêt mineur, on a effectué des croisements en vue de l'extraction de lignées associant les qualités agronomiques de bonne adaptation, et de bonne durée du cycle végétatif, aux caractéristiques du grain des variétés locales, appréciées par les populations.

#### **Quelques résultats :**

Le processus visant à obtenir une réduction du rapport paille/grain est bien engagé, et des lignées ayant une hauteur voisine de 2 m ou même inférieure ont été obtenues, et dans certains cas, vulgarisées (Sénégal, Niger). Elles seront triées pour leur aptitude à être cultivées à forte densité, et pour leur réponse à la fertilisation. Parmi ces obtentions, la variété 137-62 X Janjaré permet des rendements de plus de 4 tonnes/ha, au Mali, au Niger, au Sénégal.

Au Nord-Cameroun, la création IRAT-55 a donné 4,8 tonnes/ha.

Les variétés fixées : 50-59, 51-69 et CE-90 rendent également de 4 à 5 tonnes/ha.

D'une façon générale, les travaux d'inventaire et d'amélioration des sorghos du Bassin du Tchad ont donné lieu à des programmes très nettement différenciés de ceux des autres pays dans l'Ouest de cette région (Sénégal, Mali, Haute-Volta), et auxquels les services de Recherche Agronomique du Tchad ont largement participé.

En ce qui concerne l'amélioration des sorghos repiqués du Bassin du Tchad (Muskwari du Nord-Cameroun, Berbéré du Tchad) on s'est heurté à un facteur limitant qui est, bien sûr, l'eau disponible dans le sol.

Cet ensemble de programmes, pour toute la région, s'est effectué en étroite liaison avec les programmes conduits en Nord-Nigeria.

Il y a lieu de souligner enfin que certaines obtentions végétales nouvelles, réalisées dans ces pays, soutiennent aisément la comparaison, quant au rendement, avec certains hybrides commerciaux mis au point à

l'étranger, hors de l'Afrique, qui de par leur structure génétique « fermée » atteignent des prix élevés peu compatibles avec le pouvoir d'achat des cultivateurs de la région.

A condition de demeurer sévère quant à la qualité du grain, notamment pour la valeur protéique, une diffusion large et rapide des nouvelles obtentions s'avère souhaitable, avec des rendements assurés de 3 à 4 tonnes/hectare.

### L'amélioration du mil pénicillaire

Les populations de mil *Pennisetum typhoides* actuellement en grande culture sont caractérisées par un rapport paille/grain particulièrement élevé. Le principal objectif de la recherche a donc été de réduire ce rapport en diminuant la taille de la plante et en maintenant et améliorant le poids de grain par plant. Cette réduction de la masse de feuilles et de tiges permet une meilleure utilisation des engrais pour la production de grain.

A ce premier objectif s'ajoutent :

- la réduction du cycle végétatif,
- l'obtention de grain de bonne valeur alimentaire et gustative,
- l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes.

La sélection parmi les variétés locales cultivées traditionnellement a permis d'accroître d'environ 20 % les rendements à l'unité de surface. Mais ce matériel aisément diffusé comporte une proportion de paille très élevée par rapport au grain, et rentabilise très mal la fumure.

Des variétés synthétiques réalisant une exploitation relative de la vigueur hybride ont été obtenues et sont vulgarisables ou en voie de confirmation dans plusieurs pays. Elles rendent 3 tonnes/ha en milieu paysan. Mais elles présentent également l'inconvénient d'un rapport paille/grain trop élevé.



Sélection des mils  
nains à Bambey :  
en premier plan,  
lignée naine et précoce ;  
au second plan,  
lignées en disjonction  
pour la hauteur.

(Cliché IRAT, par Etasse).

Des variétés naines, permettant de rentabiliser les techniques intensives de production, sont en voie de création au Sénégal, en Haute-Volta, au Niger. Commencées en 1970, ces recherches ont d'ores et déjà permis de créer des variétés naines à tige fine, précoces ou très précoces (cycle semis-maturité de 70 à 75 jours) de haute productivité, mais sensibles au mildiou à *Sclerospora*, et dont diverses caractéristiques du grain laissent encore à désirer.

Avec ces nouvelles variétés, les techniques traditionnelles de culture (préparation du sol, écartement, fertilisation doivent être complètement repensées).

Il faut noter que la résistance variétale au mildiou et au charbon du grain, trouvée au Sénégal et en Haute-Volta, est transférée à certaines variétés nouvelles.

Les meilleures variétés actuelles de mil (Souna III, Zongo, Haïné-Kireï, M2D2, M9, P3 Kolo, etc.) rendent 2 à 2,5 tonnes/ha, mais sont encore en cours d'amélioration dans toute la région.

## LE RIZ

La production du riz prend, du fait de l'accroissement de la consommation née de l'accroissement démographique, et des habitudes alimentaires, une importance sociale croissante dans la région. Satisfaire le désir des gouvernements de diminuer ou d'éviter les importations de riz, est pour la recherche et les opérations de développement un impératif qui a modelé les travaux des années écoulées.

Les bulletins statistiques nationaux et l'O.A.A., donnent les chiffres de production suivants (en tonnes de paddy) :

	Moyenne 1960/61	Moyenne 1970/71
Haute-Volta	37 000	35 000
Mali	190 000	145 000
Niger	10 000	38 000
Sénégal	87 000	134 000

Face à cette production, plutôt stagnante pour l'ensemble (324 000 à 352 000 tonnes pour 4 pays) la consommation globale s'est accrue de 35 %, quoique très irrégulièrement suivant le pays et le mode de vie de la population.

Schématiquement dans cette région, seule la riziculture aquatique (irriguée, inondée) est praticable, la pluviométrie étant, le plus souvent, largement insuffisante pour couvrir les besoins en eau d'une riziculture pluviale. Toutefois celle-ci est, par endroits, possible sur la bordure Sud de la zone avec 1 100 mm de pluviosité annuelle.

Les recherches évoquées ci-après concernent principalement la riziculture irriguée et inondée, telle qu'elle est pratiquée aux abords immédiats des cours d'eau permanents (Sénégal, Niger, Volta) et de leurs affluents, dans la plaine inondée de Mopti (riz flottants et semi-flottants), et dans certains bas-fonds temporairement inondés.

En régime de submersion mal contrôlée, la caractéristique essentielle des variétés à retenir est la rusticité. Les techniques culturales assez sommaires dans ce type de riziculture, ne permettent guère, avec les meilleurs choix variétaux, de dépasser des rendements de 2 à 3 tonnes/hectare.

Des travaux de sélection ont été, depuis longtemps, entrepris sur les Stations du Sénégal (Richard-Toll), du Mali (Kogoni), du Niger (Kolo). Ils ont abouti à une gamme de variétés bien adaptées, dont les cycles végétatifs vont de 130 à 180 jours : Phar Com En, Gambiaka, D-52-37, Sintane Diofor, etc. Ces variétés sont généralement cultivées à « franges » selon la topographie, les variétés à cycles les plus longs dans les points les plus bas où l'inondation est maximale. Elles ont un grain long, translucide, d'excellentes qualités technologiques et gustatives, et sont assez résistantes aux maladies et aux parasites.

La riziculture irriguée, dans laquelle la maîtrise de l'eau est théoriquement totale, tant à l'irrigation qu'au drainage, se pratique dans des « périmètres » spécialement aménagés (casiers de Richard-Toll au Sénégal, aménagements de l'Office du Niger au Mali, casier du SEMRY au Nord-Cameroun où deux cultures annuelles sont possibles, ainsi que dans le casier de Kolo au Niger, également à deux cultures).

On y a longtemps cultivé des variétés du même type que celles précédemment citées, mais d'une productivité supérieure, parmi lesquelles : H-821-3, hybride créé à Richard-Toll, C-74 introduit des Philippines, Bentoubala et Neang Veng, riz de luxe de l'Office du Niger.

Plus récemment, le gène de semi-nanisme tiré de la variété Deo Woo Gen de Formose a permis, avec la création des variétés Taichung Native n° 1 et IR-8, puis de leurs très nombreuses proches parentes, d'atteindre un potentiel de productivité très élevé, de l'ordre de 10 tonnes/ha ; rendement autorisé notamment par l'excellente réponse à l'azote, et par des modes de culture très intensifs. On a pu, en certains endroits, réaliser deux cultures par an. En revanche, d'une part ces variétés hautes productrices sont très sensibles à la piriculariose, ce qui n'est pas très grave pour la région, mais d'autre part elles présentent un grain de qualité en général moins bonne que celui des variétés anciennes. Les recherches en cours, dans la région comme hors de l'Afrique, s'attachent à corriger ces défauts.

Quelques résultats :

Les rendements obtenus au cours de ces dernières campagnes ont été les suivants :

IR-8 au Nord-Cameroun :

En Station :	1 <sup>re</sup> saison 9,5 t/ha	TOTAL 16,7 t/ha
	2 <sup>e</sup> saison 7,2 t/ha	
En grandes surfaces :	1 <sup>re</sup> saison 4,5 t/ha	TOTAL 8,5 t/ha
	2 <sup>e</sup> saison 4 t/ha	

Taichung 18 au Nord-Cameroun :

En Station :	1 <sup>re</sup> saison 8,5 t/ha	TOTAL 14,5 t/ha
	2 <sup>e</sup> saison 6 t/ha	
En grandes surfaces :	1 <sup>re</sup> saison 4 t/ha	TOTAL 7,4 t/ha
	2 <sup>e</sup> saison 3,4 t/ha	

On notera à ce propos l'importante « dérive » des rendements quand on passe de l'essai en station aux grandes surfaces.

Meilleures variétés de riz dressés au Mali (Office du Niger) : 4,3 à 6,2 t/ha suivant les variétés et la longueur du cycle végétatif, la meilleure étant HKG-48.

La riziculture dite « flottante », en eau profonde, a pour le Mali (Mopti) une grande importance puisqu'elle assure la moitié de la production nationale. Les variétés traditionnelles appartiennent à l'espèce *Oryza glaberrima*. Elles s'égrenent au champ, ont un caryopse rouge, et répondent mal à l'azote.

Les recherches sur ce type de riziculture ont surtout consisté en l'étude de l'adaptation de variétés introduites d'Asie (Neung Kheaw 5, Srau Sor, Indochine blanc, etc.) dont les rendements ont été, en Station, de l'ordre de 4 t/ha.

Bien que la riziculture pluviale ne puisse être que très marginalement évoquée ici, il y a lieu de citer l'ampleur qu'elle a prise au Centre et au Sud-Sénégal (Casamance) grâce à un important programme de recherches depuis moins d'une dizaine d'années.

Ce programme avait pour objectif l'obtention de variétés de type « Indica nain », résistantes à la piriculariose, et s'adaptant à la pluviométrie parfois aberrante. La rapidité de la levée était en conséquence, un critère important, lié d'ailleurs à l'amélioration des techniques culturales, saison des labours, et fumure.

Introduction de variétés, hybridation, étude de mutations provoquées par irradiation, ont constitué les méthodes de base de ce programme.

Les rendements les meilleurs obtenus en Casamance par la conjugaison des meilleurs facteurs de production, variétés x techniques culturales (lutte herbicide notamment) x fumure, sont de l'ordre de 2,5 à 2,8 t/ha pour ces riz sur pluies dans la frange de 1 100 mm.

Pour l'ensemble de ces divers types de riziculture, d'importants programmes de recherches sur la fumure, les techniques culturales, la protection phytosanitaire, et, pour le riz pluvial, la lutte herbicide, ont été conduits dans toutes les Stations rizicoles de la région, sur des thèmes coordonnés dans l'espace tels que les actions spécifiques de l'azote, du phosphore et de la potasse, l'étude de la correction des carences éventuelles des sols de rizières en phosphore et potasse, l'action précise de l'azote et de son fractionnement sur chaque type variétal. Des formules types de fumures minérales et leur mode d'application ont pu, ainsi, être proposées à la vulgarisation pour chacun des types de riziculture de la région.

Pour le riz pluvial du Sud-Sénégal, des recherches ont concerné les rotations culturales (étude du « précédent » arachide, mil, ou maïs) donnant l'avantage à un précédent arachide, dans une rotation quadriennale : maïs, mil, arachide, riz,

ou triennale : arachide, riz, maïs ; le labour préconisé est le labour de fin de cycle.

En riziculture aquatique l'adaptation des labours à l'énergie disponible, celle de l'attelage de bœufs, a été étudiée ainsi que les comparaisons entre semis direct et repiquage, faites dans le contexte de la Haute-Volta.

De même au Mali, au Niger, au Nord-Cameroun, les modalités d'application des techniques culturales ont fait l'objet d'expérimentations suivies dont les conclusions ont été proposées à la vulgarisation. Le bilan de ces travaux ne peut prendre place ici.

La lutte herbicide en rizière a fait l'objet de recherches au Sénégal, au Mali et au Niger, notamment contre *Ischaemum rugosum* en rizière irriguée, et contre le riz à rhizômes du type *Oryza barthii* en riziculture flottante (Mali). Des techniques de lutte, par voie chimique, ou par voie agronomique, en agissant sur la mise en eau, et par faucardage sous l'eau en rizière flottante, ont été mises au point.

Dans le domaine de la lutte contre les insectes en riziculture, les recherches ont concerné, dans la région : deux chenilles mineuses des tiges de riz flottant — *Maliarpha* et *Chilo* — à l'origine de pertes importantes, et divers insectes des rizières du Sénégal et du Niger, contre lesquels des moyens de lutte chimique ont été expérimentés.

## LE MAÏS

Ce n'est une culture ni traditionnelle ni répandue dans la région considérée, puisque par rapport à une production mondiale de l'ordre de 300 millions de tonnes en 71 — dont 22 millions de tonnes produits sur le continent africain — les pays de cette région n'interviennent que pour les quantités suivantes ; (en tonnes) :

Haute-Volta	: 48 000
Mali	: 80 000
Sénégal	: 45 000

(les productions des autres pays de la région sont négligeables).

En fait, cette culture est marginale à la région écologique considérée (comme le riz pluvial) à moins qu'on ne la pratique en condition d'irrigation totale ou d'appoint. Pour ces pays à saison des pluies unique et courte, la sélection du maïs doit déboucher sur des matériels de grande précocité, répondant en outre aux contraintes technologiques et organoleptiques dues aux consommateurs qui, ici, sont la population et non pas le bétail.

Les critères de sélection ont donc été, pour ces trois pays et principalement au Sénégal :

- l'adaptation écologique ;
- le rendement à l'unité de surface et la stabilité de ce rendement ;
- la qualité du grain quant à sa teneur en méthionine, et surtout en lysine dans l'endosperme (alimentation des enfants) ;
- la taille courte des tiges : résistance à la verse ;
- les feuilles érigées, pour une meilleure utilisation de la lumière ;
- la prolificité : aptitude à porter plusieurs épis par plant ;
- la résistance aux insectes et maladies ;
- la bonne réponse aux engrais.

L'accroissement de la teneur du grain en lysine, peut être obtenu soit par sélection directe, soit par transfert du gène récessif « opaque-2 » identifié en 1964 aux U.S.A. Ce gène a été introduit dans de nombreuses souches de maïs. Il a par contre une incidence fâcheuse sur la structure du grain, plus sensible aux attaques d'insectes, et sur la productivité qu'il abaisse de 10 à 15 % en général.

Dans la région, les stations de Séfa en Casamance et de Farako-Ba en Haute-Volta, sont le siège de l'amélioration du maïs, mais à titre secondaire, le travail principal s'effectuant en région tropicale humide ou en altitude.

Des hybrides complexes, à base génétique élargie, tirant leur origine de croisements entre lignées étrangères et maïs locaux, produisent en Casamance 5 t/ha, et peuvent atteindre 6 à 7 tonnes. Il faut souligner qu'au Sénégal le maïs est peu attaqué par les maladies, ce qui renforce encore l'intérêt de ces obtentions. Parmi celles-ci, il faut citer : le Blanc de Séfa (B.D.F.), ZM 10, Jaune de Séfa (J.D.S.).

Les maïs améliorés du Mali sont moins productifs : 3 à 3,5 t/ha. En Haute-Volta, par contre, les meilleures variétés ont produit (en Station) 4 à 4,5 t/ha.

La fumure du maïs a été d'autant mieux étudiée que cette plante sert souvent de test dans les recherches sur la fertilité équilibrée des sols. En particulier, le fractionnement de l'azote (1/3 au semis, 1/3 à la montaison, 1/3 à l'épiaison) aux doses de 60, 120 et 180 kg/ha d'azote, a été l'un des thèmes de ces études en Haute-Volta. L'alimentation azotée est combinée avec l'utilisation des résidus de récolte.

Enfin, diverses expérimentations ont concerné, au Sénégal, les techniques culturales, et notamment la préparation des sols (labour en début de saison des pluies), la date et la densité des semis.



## LE BLE

Ce n'est pas une céréale tropicale et l'Afrique de l'Ouest ne peut envisager d'en produire qu'en conditions d'irrigation pendant la saison froide (octobre à février) sur la frange nord de la région sèche soudano-sahélienne : Nord du Sénégal, Sud de la Mauritanie, Nord du Mali agricole, Sud du Niger et cuvette du Lac Tchad.

L'accroissement de la consommation du pain en Afrique tropicale, essentiellement dans les villes, a été à l'origine du développement de cette production, sur une très modeste échelle, pour les besoins des meuneries locales qui obligeaient à de coûteuses importations de farine de blé.

Bien qu'il semble préférable de panifier d'autres céréales, plus spécifiquement africaines (les études technologiques sont en cours, notamment à Dakar avec les mélanges sorgho-blé), la recherche sur l'adaptation des variétés de blé à cette zone marginale a permis un choix de variétés à partir d'introductions d'Afrique du Nord et du Mexique (C.I.M.M.Y.T.). Les rendements obtenus au Tchad, au Niger et au Sénégal, s'échelonnent ainsi de 2 à 4 t/ha.

Les études relatives à la fumure azotée (de 100 à 200 kg/ha) et aux besoins en eau (9 000 m<sup>3</sup>/ha en 20 irrigations au Tchad) ont abouti à des données vulgarisables dans l'immédiat.

## L'ARACHIDE

Dans les régions où prévalent des conditions écologiques sévères auxquelles elle s'adapte bien, l'arachide contribue à l'intensification de l'agriculture, qui ne peut se faire qu'avec l'appui d'une culture commercialisée entrant en rotation avec des céréales largement autoconsommées.

*L'amélioration variétale* s'est fixé comme objectifs :

- la productivité,
- l'adaptation écologique, et notamment la résistance à la sécheresse,
- la résistance aux maladies,
- la recherche de la qualité pour l'arachide d'huilerie, et pour l'arachide de bouche (confiserie).

Conduites depuis plus de trente années à Bambey (Sénégal) ces recherches ont été peu à peu étendues aux autres pays de la région, Bambey restant la base principale et la banque de gènes.

La méthodologie en est classique : introductions, collections, essais comparatifs, sélection pedigree des meilleures variétés — avec une amélioration résultante limitée ; et surtout l'hybridation suivie de sélection généalogique et de croisements de retour sur les caractères intéressants (précocité, teneur en huile, résistance à la maladie virale de la rosette, etc.).

### Productivité et qualité des récoltes

Parmi les variétés de bonne productivité sélectionnées pour le rendement au décorticage, la teneur en huile et l'adaptation écologique à chaque zone de la région, il faut citer :

- 47-16 (Virginia) et 55-437 (Spanish), résistantes à la sécheresse au Nord-Sénégal et au Niger (400-600 mm de pluies).
- 28-206, 57-422 (Virginia) au Sénégal, Mali, Niger ; 47-10, 90 Saria, TE-3, 28-204 (Spanish), pour les zones à pluviométrie intermédiaire (600-900 mm).
- des variétés résistantes à la rosette pour les zones plus pluvieuses : 48-37, 1040, 69-101, R.M.P. 12 (Virginia) et KH 19 (Spanish).

Récemment, les caractéristiques technologiques ont enregistré de nouvelles améliorations : rendement au décorticage, 75 % au lieu de 70 %, teneur en huile 60 % au lieu de 50 %.

Pour ces nouvelles variétés, s'ajoutent aux critères principaux de sélection : la teneur en protéines, la composition en acides gras, la valeur semencière.

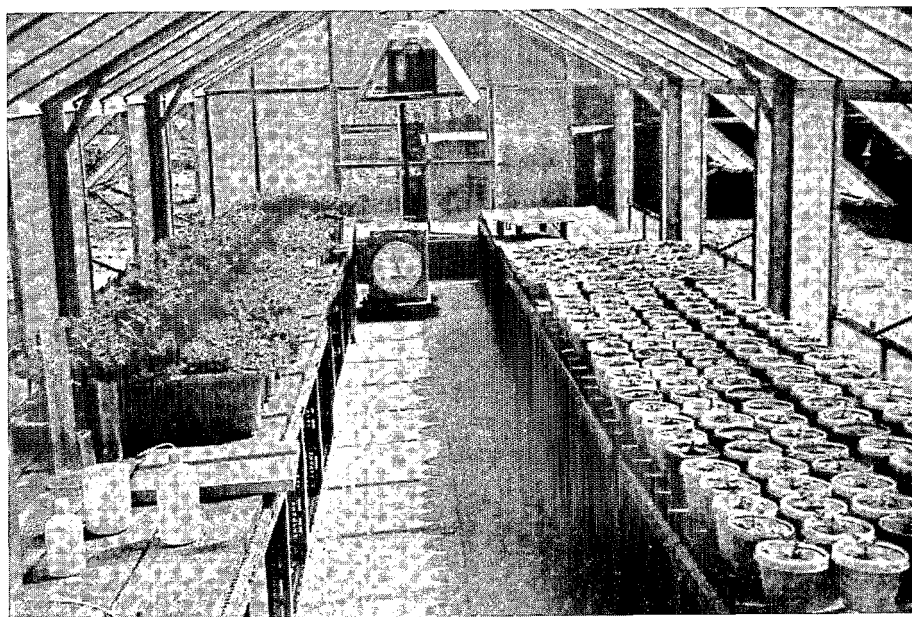
### Résistance à la sécheresse

La nutrition hydrique de l'arachide a été étudiée depuis 1950 au Sénégal. On a d'abord mis à l'épreuve les variétés et décelé les différences variétales quant à cette résistance.

On a ensuite mis au point des tests précoces (sur plantules et sur graines) qui ont permis de classer 1 200 variétés selon leur degré de résistance à la sécheresse.

Ainsi ont pu être diffusées quelques variétés à la fois productives et résistantes :

On notera en particulier la variété hâtive 55-437 qui fait l'objet depuis 1967 d'un programme de production de semences et d'une diffusion accélérée dans le nord du Sénégal. Les paysans multiplicateurs de cette variété ont obtenu sur cinq ans — dont trois ont présenté une pluviométrie inférieure à 500 mm — un rendement moyen de 1 280 kg/ha sur 2 000 ha, et en 1970 malgré une pluviosité totale de 243 mm seulement et un arrêt précoce des pluies, un rendement de 1 105 kg/ha contre une production pratiquement nulle pour la variété locale.



*Plantules d'arachides  
de diverses variétés  
testées pour leur résistance  
à la sécheresse*



*Champ de la variété 55-437  
Résistante à la sécheresse  
dans le Nord-Sénégal  
Cette variété a produit  
en moyenne 1 280 kg/ha sur 3 années  
à pluviométrie inférieure à 300 mm.*

### **Résistance aux maladies**

Ce facteur est vu surtout sous l'angle de la rosette, virose grave dans la zone à plus de 800 mm de pluie. L'hybridation avec croisement de retour, a permis de créer des variétés tardives et des variétés hâtives résistantes demeurant hautement productives : 1 040 en Haute-Volta (3 000 kg/ha en Station et 1 500 kg/ha en grande culture, contre 300 kg/ha pour les variétés sensibles). Une nouvelle variété : R.M.P. 12, est encore plus prometteuse.

### **L'arachide de bouche**

Les études ont concerné les types Virginia, commercialisés en coques et en graines, et les types Spanish, commercialisés en décortiqué pour la confiserie. Les critères de sélection étaient : la présentation, la taille et la forme des coques et des graines, le goût, la faible teneur en huile. Entreprise au Sénégal (Darou) et en Haute-Volta (Niangoloko) ces recherches ont permis de vulgariser :

au Sénégal, la GH-119-20 (Virginia à grosse graine) cultivée sur 14 000 ha en 1973 et la 55-437 (Spanish) dans le Nord ;

en Haute-Volta : 424-A, et au Mali : 47-10.

## **PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

### **Nutrition hydrique et physiologie de la résistance à la sécheresse**

Les études bioclimatologiques et de bilans hydriques ont permis de définir les besoins en eau de la plante, et les stades du développement les plus sensibles à la sécheresse, ainsi que les effets de l'alimentation hydrique sur la croissance, la floraison, la fructification, la transpiration, la photosynthèse et la régulation stomatique.

Diverses techniques ont permis d'améliorer le bilan hydrique : travail et couverture du sol, enfouissement



Arachides résistantes à la sécheresse, cultivées en phytotron à Bambey, pour études de tests physiologiques.

de matière organique, notamment de coques d'arachides. On a également expérimenté les brise-vents, les cultures associées arachide-mil, la culture sous *Acacia albida*.

Les recherches sur la physiologie de l'eau dans la plante, conduites au laboratoire de Bambey (Sénégal) ont été orientées vers la mise au point de tests permettant de sélectionner les variétés résistantes à la sécheresse :

- vitesse de croissance relative (sur jeunes plants)
- résistance à la chaleur (sur jeunes plants)
- pression osmotique de germination (sur graines)
- transpiration relative (sur folioles)
- pression de succion

### Nutrition minérale et fertilisation

Ces recherches associent très souvent le diagnostic foliaire à l'expérimentation au champ.

A ce titre, au Sénégal, depuis vingt ans, des centaines d'essais au champ, liés à des milliers de prélèvements foliaires et d'analyses, ont permis d'étudier les valeurs critiques des éléments nutritifs dans la plante, leurs relations, et de dresser des cartes de nutrition, permettant de définir les fumures. Le Sénégal, et dans une moindre mesure, le Mali et la Haute-Volta, disposent de telles cartes.

D'autre part, des recherches ont été entreprises sur l'utilisation des phosphates naturels et le rôle du soufre. Elles ont abouti à préconiser la fabrication de superphosphates au Sénégal.

Les réseaux d'essais de fumure ont permis de recommander aux cultivateurs certaines formules dans les limites de la rentabilité économique. L'évolution des effets des fumures est suivie dans le temps (certains essais à long terme sont en place depuis 1952). Ainsi a-t-on pu démontrer que l'effet du soufre est immédiat après défrichement et se poursuit pendant 2 ou 3 années, celui du phosphore est plus lent à apparaître, et dure plus longtemps — 8 à 10 ans — l'effet de la potasse prenant ensuite le relais sur cultures continues d'arachide et sorgho sans jachère.

Les bilans minéraux, l'épuisement des réserves du sol, les effets des éléments minéraux sur la qualité des récoltes, ont été longuement étudiés.

## TECHNIQUES CULTURALES

Diverses recherches et expérimentations ont concerné :

- la désinfection des semences (accroissement de rendement de 15 à 40 % pour une dépense de 100 F C.F.A. par ha) ;
- la densité de semis la meilleure pour chaque type de variété (hâtif, tardif, Virginia de bouche, etc.)
- l'effet de régulateurs de croissance,
- les rotations avec les céréales,
- le travail du sol,
- la reconstitution de la fertilité du sol et de son capital humique,
- la lutte herbicide chimique.

Elles ont permis de préconiser en vulgarisation des techniques améliorées.

On est actuellement assuré d'obtenir dans cette région en grande culture :  
2 000 à 2 500 kg/ha d'arachide pour 700 mm de pluie au minimum,  
1 000 à 1 500 kg/ha dans les zones plus sèches.

Cependant l'intensification du système de culture, avec suppression de la jachère, demeure l'objectif final des recherches.

## PROTECTION SANITAIRE DES CULTURES ET DE LA RECOLTE

L'acquisition de la résistance variétale a permis de maîtriser la rosette, maladie à virus. Des traitements chimiques ont été mis au point contre diverses maladies fongiques : *Macrophomyna*, *Fusarium*, *Cercospora*, ou dues à des nématodes, ainsi que contre des chloroses.

Des recherches ont été entreprises et se poursuivent sur les maladies du plant à la levée.

Mais le problème le plus grave, et le plus difficile à résoudre est celui de la toxicité conférée par *Aspergillus flavus* aux fruits mûrissant en terre ou après récolte, toxicité due à l'aflatoxine.

Certaines techniques de récolte — égoussage en vert — et de séchage ont été mises au point et préconisées pour en écarter le risque. L'incidence de la sécheresse en fin de végétation sur cette toxicité a été mise en évidence. Un vaste programme d'étude coordonné entre organismes de recherches privés et publics a été mis en œuvre pour la détection des lots contaminés, leur traitement par décorticage pneumatique différentiel, et la détoxication des tourteaux.

Dans le domaine des parasites de la plante et de la gousse, des recherches ont été entreprises et des traitements chimiques mis au point contre les diplopodes s'attaquant au tout jeune plant, et aux gousses en cours de maturation, favorisant leur contamination par *Aspergillus*. Les recherches s'orientent vers des répulsifs.

Le parasitisme dans les stocks de graines a été maîtrisé par divers insecticides, et l'on a testé la fumigation au bromure de méthyle, procédé maintenant utilisé sur les semences d'arachide au Sénégal, au Mali, en Haute-Volta et au Niger.

## LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES AUTRES QUE L'ARACHIDE

### LE NIEBE (VIGNA UNGUICULATA)

C'est une plante bien adaptée au climat sec, susceptible d'être cultivée dans les zones où il devient difficile de faire des cultures d'arachide. Sa richesse en protéines est une ressource alimentaire précieuse. Toutefois, à cette qualité s'associe parfois, chez certaines légumineuses, la présence d'antitryptase et d'inhibiteurs de croissance difficiles à éliminer. Ce défaut existe à un moindre degré chez le niébé que chez d'autres légumineuses alimentaires. La culture du niébé est répandue en zone soudano-sahélienne où la consommation annuelle moyenne est de 10 kg de graines par habitant.

Les recherches sur le niébé, entreprises surtout au Sénégal et au Niger, ont été réalisées en vue des deux objectifs suivants :

#### 1 - intégration dans des systèmes intensifs en culture pure :

- variétés érigées et à fructification groupée,
- lutte chimique contre les insectes nuisibles,
- fertilisation et techniques culturales améliorées ;

#### 2 - développement de la commercialisation :

- variétés donnant des graines d'un goût accepté,
- protection des stocks contre les parasites.

L'effort de recherche s'est surtout appliqué dans le domaine de l'amélioration variétale, avec les objectifs suivants :

- port dressé à croissance définie,
- cycle court (75 jours du semis à la maturité),
- insensibilité au photo périodisme, et faible sensibilité à la thermo-période (pour la zone Nord).
- groupement de la fructification,
- graine grosse, de couleur crème, et gousses vertes,
- rendement élevé.

Au Sénégal, plus de 800 variétés ont été introduites mais la collection maintenue à Bambey ne porte finalement que sur 200 numéros. Ces variétés ont été testées en divers lieux depuis 1960 sur les divers critères énoncés ci-dessus. Des hybridations ont été entreprises. Six variétés ont pu, ainsi, être proposées à la vulgarisation au Sénégal, elles ont une aire d'adaptation suffisante pour couvrir l'ensemble du pays. Leurs rendements en essais atteignent à Louga (Nord-Sénégal) 1 600 kg/ha.

Au Niger sont étudiées les descendance d'hybrides réalisés au Sénégal. Les plus récents tests de rendement en essais multiloaux (7 sites expérimentaux) donnent au maximum 1 250 kg/ha. La variété TN 88-63 originaire de N'Guimi, se montre toutefois supérieure, avec 2 000 kg/ha.

Cependant, l'un des plus importants problèmes posés à la recherche sur le niébé est celui de sa protection contre les insectes. C'est en effet, même en zone sèche, une plante extrêmement parasitée. Divers traitements insecticides ont été expérimentés au Niger avec succès, notamment l'endosulfan à 1 kg/ha de matière active ; en sol médiocre, deux traitements suffisent : à l'apparition des premiers bourgeons floraux, et 14 jours plus tard ; en sol riche, trois traitements espacés de 10 jours sont recommandés.

## LE SOJA

Important producteur d'huile, le soja suscite également un grand intérêt en raison de la richesse de sa graine en protéines et de la valorisation de sa production, imputable pour les 2/3 au tourteau.

Consommé traditionnellement en Extrême-Orient, il était pratiquement inconnu en Afrique Occidentale, où deux raisons au moins militent en faveur de son introduction :

- a) son « association » aux cultures de la région sèche : arachide, sorgho, cotonnier,
- b) une forte demande des pays développés, en tourteau de soja.

Pour la région de l'Afrique sèche, les recherches sur cette espèce ont été menées au Sénégal. Des introductions variétales exécutées jusqu'ici, il faut retenir une collection de 40 lignées de petite taille, 21 de taille moyenne et 27 de grande taille, ces dernières en général plus tardives.

On a étudié l'inoculation des racines de soja par diverses souches de rhizobium, de façon à provoquer les nodulations fixatrices de l'azote de l'air, et ceci dans plusieurs types de sol.

L'adaptation écologique et l'amélioration variétale requièrent la poursuite et l'élargissement de ce programme, sur un plan multinational.

## LE COTONNIER

La production cotonnière s'est considérablement développée dans la région (Tchad, Nord-Cameroun, Niger, Haute-Volta, Mali, Sénégal) au cours des dix dernières années.

En 1961/62, les six pays ci-dessus produisaient au total 59 000 tonnes de coton-fibre, soit 0,5 % de la production mondiale.

En 1971/72, leur production s'est élevée à 107 000 tonnes de coton-fibre (accroissement 80 %), soit 0,9 % de la production mondiale, correspondant à une valeur commercialisée de 400 millions de FF (dont 200 millions de FF nets aux cultivateurs).

Cette augmentation, due notamment aux progrès induits par la recherche, est intervenue malgré des conditions climatiques défavorables depuis quelques années dans certaines zones de culture.

Le cotonnier est le moteur de l'évolution agricole de l'Afrique sèche dans les régions où sa culture est possible.

## L'AMELIORATION VARIETALE

Les sélections ont commencé il y a 25 ans au Tchad, à partir de l'Allen commun, introduit au début du siècle, d'Amérique en Afrique orientale puis au Nigeria. Cette variété, alors largement cultivée, avait parmi de nombreux inconvénients, un faible rendement à l'égrenage, (28 % de fibre). L'amélioration du rendement à l'égrenage a donc été, au même titre que celui de la productivité, un objectif prioritaire.

Les variétés obtenues Allen-150 et 151 à 36 % de fibre, puis Allen-333 à 38 % de fibre furent largement diffusées dans toute la région. Plus récemment la variété 444-2 à 40 % de fibre a été vulgarisée en Haute-Volta.

S'agissant de la résistance aux jassides et à la bactériose ces obtentions représentaient déjà un progrès sensible.

Cependant la sélection pour la productivité a donné au Tchad la variété BJA-592, issue d'un croisement N'Kouralax Triumph, résistante aux jassides et à la bactériose. Elle est encore cultivée sur plus de 350 000 ha au Tchad, au Nord-Cameroun, en Haute-Volta, au Mali, au Sénégal. Elle s'est toutefois montrée très sensible, en certains lieux, à une mosaïque à virus transmise par *Bemisia*. Des récents travaux de sélection sur la résistance à cette virose sont issues les variétés HG-9 et Y-1422, actuellement diffusées au Tchad.

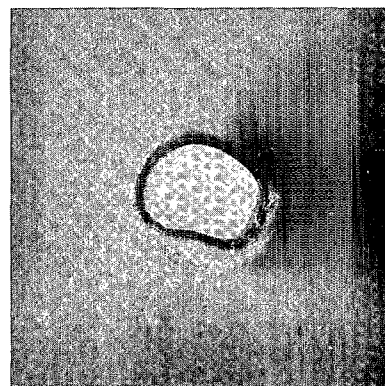
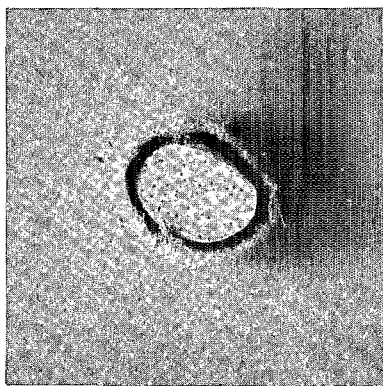
La résistance à deux autres maladies est également recherchée : la « maladie bleue », une virose, et la « virescence », une mycoplasmoses.

L'adaptation écologique est aussi un critère de l'amélioration variétale, et tout particulièrement l'adaptation aux faibles pluviométries. L'importance en est soulignée par les conditions climatiques défavorables des trois dernières années. Les variétés jusqu'alors diffusées n'y étaient qu'insuffisamment adaptées.

De nouvelles sélections ont été entreprises pour les zones relativement sèches — environ 900 mm de pluies) en insistant sur les caractères de cycle court et de forte vigueur germinative. On peut à cet égard citer la variété 3716 créée au Cameroun.

Les qualités technologiques, déjà très satisfaisantes avec BJA-592, sont encore améliorées avec Pan-F3 (forte longueur et bonne résistance de fibre), LL-231-24 (très forte résistance), L-299-10.

Depuis 15 ans, un nouvel objectif de sélection a été proposé : la création de variétés à graines sans gossypol, utilisables dans l'alimentation humaine. L'intérêt en est évident pour les pays dont les rations alimentaires manquent de protéines. Au Tchad et au Mali sont expérimentées, dans cette optique, les variétés « Bulk A glandless » et « Bulk B glandless ».



A gauche, graine de cotonnier ordinaire.  
A droite, graine de cotonnier sans gossypol.



## LES PROBLEMES AGRONOMIQUES

Au premier rang de ces problèmes, apparaissent :

- l'économie de l'eau en culture cotonnière,
- les besoins nutritionnels et la fertilisation minérale.

De 1963 à 1969 une étude menée au Mali a défini les besoins en eau de la plante mois par mois de juin à octobre. Parallèlement, l'étude fréquentielle des pluies et celle des techniques d'irrigation de divers sols ont permis de préciser dates et doses d'irrigation optimales.

La nutrition minérale fut étudiée par diagnostic foliaire lié aux essais aux champs, parallèlement à des recherches sur les équilibres et carences de fertilité des sols.

En culture peu intensive, et plus ou moins itinérante, des carences ont été notées fréquemment en azote et en phosphore, parfois en soufre et en bore, rarement en potassium. L'intensification de la culture (fixation sur le terrain, techniques évoluées, variétés productives, etc.) a fait croître les besoins en phosphore et surtout en azote, et a créé d'importants besoins en potassium.

Les formules de fumure, leurs effets directs sur cotonnier et leurs arrière-effets, ont fait l'objet d'études qui ont permis de préciser, à l'intention de la vulgarisation, les doses d'engrais requises à l'unité de surface dans tous les cas.

Les périodes critiques de la nutrition du cotonnier ont été caractérisées, et notamment celles des trente premiers jours, particulièrement importants, dans l'ensemble de la région.

On a étudié la correction de la déficience potassique, et souligné sa relation avec l'alimentation hydrique. Enfin, un important travail d'expérimentation a porté sur l'utilisation des phosphates naturels du Mali et du Sénégal, moins efficaces que les phosphates solubles, mais utilisables localement.

Depuis 1965, le désherbage chimique a été expérimenté. Certaines solutions sont disponibles et vulgarisées.

La culture cotonnière, jadis en grande part itinérante dans cette région, là où elle n'était pas irriguée, évolue maintenant vers la fixation au sein de systèmes de production dont l'étude technique et économique est en cours. L'évolution à long terme de la fertilité des sols est devenue, de ce fait, un important thème de recherche portant sur différents facteurs physiques, chimiques, biologiques, agronomiques, etc. Lancé en 1963 dans le cadre de programmes à long terme, il poursuit son cours.

## LES PROBLEMES PARASITAIRES

Dans la région, les problèmes parasitaires sont caractérisés par :

- le nombre relativement peu élevé de ravageurs, dont certains peuvent cependant être très redoutables : *Diparopsis*, *Cosmophila* ;
- le climat sec, ne compensant pas les dommages des insectes.

Les traitements insecticides ont permis de tripler les rendements par rapport aux cultures cotonnières non traitées. Dans ce domaine, les recherches ont été conduites sur un plan régional. Elles ont couvert deux grands thèmes :

- a) l'étude biologique des parasites et de leurs auxiliaires,
- b) l'étude de la protection de la culture par lutte chimique et par lutte « intégrée ».

Les études biologiques et écologiques des parasites ont concerné : les diplopodes (Mali, Sénégal), *Diparopsis* et *Heliothis* (Tchad, Cameroun), *Cosmophila*, *Dysdercus*, *Earias* (Mali). Des recherches d'entomophages ou d'entomopathogènes de ces ravageurs sont en cours pour organiser la lutte biologique :

- au Tchad : virus d'*Heliothis*, bactéries de *Diparopsis*,
- au Nord-Cameroun : Tachinaires sur *Diparopsis*,
- au Mali, au Sénégal : parasitisme des œufs de Noctuelles par des Hyménoptères autochtones ou introduits.

Les études sur la protection des cultures ont d'abord porté sur la lutte chimique : essais d'insecticides et des techniques d'épandage. On a résolu le problème du choix des appareils de traitement, déterminé les « doses létales 50 », et étudié l'évolution de l'accoutumance des ravageurs aux produits. Elles ont ensuite évolué vers les formes « intégrées » de lutte, combinant diverses techniques : pratiques culturales, résistance variétale aux insectes, utilisation d'entomopathogènes et d'entomophages, avertissements agricoles pour déclencher la lutte chimique.

Les recherches sur la pulvérisation à faible volume ont permis d'abaisser, dans certains cas, la quantité épanchée par hectare dans une première phase à 100 litres puis à 10 litres et enfin à 2 litres (technique U.L.V.).

Les études doivent désormais porter également sur la conservation de la qualité des eaux naturelles, en prenant toutes mesures propres à éviter leur pollution par les produits phytosanitaires.

## INTEGRATION ET DIFFUSION DES RESULTATS

On distingue deux axes :

- la diffusion de nouvelles variétés,
- l'amélioration des techniques de production (protection phytosanitaire et fertilisation).

Dans le domaine variétal, le tableau ci-après résume l'amélioration effective apportée.

	1961	1971
Tchad	Allen 150 300 000 ha Allen 151 % fibre 36 % Longueur 1"-1"1/32	BJA 592 60 000 ha % fibre 37,5 % Longueur 1"1/32 - 1"1/16 HG 9 240 000 ha % fibre 38 % Longueur 1"1/32
Cameroun	Allen 151 58 000 ha Allen 150 K 2 000 ha Allen 333 3 000 ha % fibre 35,3 % Longueur 1"-1"1/32	BJA 592 80 000 ha % fibre 37,5 % Longueur 1"1/16
Niger		HL 1 15 000 ha % fibre 38 % Longueur 1"1/32 - 1"1/16
Sénégal		BJA 592 30 000 ha % fibre 37,5 % Longueur 1"1/32 - 1"1/16
Haute-Volta	Allen 151 20 000 ha % fibre 36 % Longueur 1"1/32	BJA 592 60 000 ha % fibre 37,5 % Longueur 1" - 1"1/16 444-2 5 000 ha % fibre 39,5 % Longueur 1"1/32
Mali	Allen 151 % fibre 36 % Longueur 1"1/32	BJA 592 80 000 ha % fibre 37,5 % Longueur 1"1/32 - 1"1/16

Dans le domaine phytosanitaire : toutes les cultures de cotonnier reçoivent 5 à 8 traitements au Sénégal ; la moitié des surfaces reçoit 4 traitements au Mali ; en Haute-Volta et au Tchad, environ 12 % des surfaces sont traitées.

La fumure minérale a considérablement progressé en grande culture dans la région. Presque nulle en 1960, elle concerne en 1970 le 1/4 des superficies en cotonniers avec 125 000 ha fertilisés.

La conjonction de ces trois facteurs d'amélioration de la production cotonnière se traduit par un accroissement important pour l'ensemble de la zone.

Pays	Production : tonnes coton-graine		
	1961	1965	1971
Cameroun	25 100	57 544	43 197
Haute-Volta	2 343	7 460	28 126
Mali	12 995	18 460	67 939
Niger	2 311	6 077	8 272
Sénégal	0	300	21 209
Tchad	46 733	86 806	108 802
<b>TOTAL</b>	<b>89 482</b>	<b>176 647</b>	<b>277 545</b>

## LA CANNE A SUCRE

### LES MOTIVATIONS DU DEVELOPPEMENT DE LA CULTURE

La plupart des pays de la région soudano-sahélienne (Mauritanie, Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger) ont inscrit dans leurs programmes de développement depuis une décennie, et pour les années à venir, la mise en production d'une industrie sucrière nationale. Le Cameroun a procédé de même à partir de la zone Centre-Sud, plus humide, de son territoire.

Cette production sucrière nationale permettra à ces pays : de réduire, puis de supprimer les importations de sucre, d'accroître la consommation par habitant, actuellement encore très insuffisante ; de diversifier la production agricole ; enfin de promouvoir une industrialisation, elle-même génératrice d'effets économiques induits.

Dans un premier temps, ces pays ont visé l'autosatisfaction de leurs besoins, réservant pour un stade ultérieur d'éventuelles possibilités d'exportation.

### TRAVAUX REALISES ET RESULTATS OBTENUS

Bien qu'ils aient suivi un schéma directeur valable pour toute opération de cette nature et de cette importance, les travaux réalisés par la recherche française dans les cinq pays cités n'ont pas été exactement les mêmes. Les actions menées ont été les suivantes, pays par pays :

- |  |   |  |
|--|---|--|
| 1) Choix des sites de production   | { | Mauritanie, Mali, Sénégal, Haute-Volta, Niger.               |
| 2) Importation de boutures saines  |   |  |
| 3) Multiplication de la collection variétale :   |   | Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger.                           |
| 4) Programme général d'étude :   |   | Mauritanie, Sénégal, Mali, Niger.                            |
| 5) Expérimentation sur le terrain : sélection variétale, fumure, durée de la campagne, rendements agricoles et industriels, nombre de repousses, méthodes de culture, défense contre les parasites et maladies, etc. : |   | Sénégal, Mali, Haute-Volta (par une Société privée), Niger ; |
| 6) Etudes relatives aux sols :   |   | Sénégal, Mali, Niger ;                                       |
| 7) Etudes relatives aux aménagements, à l'irrigation, et au drainage (contrôle du sel et de la nappe phréatique, besoins en eau, etc.)   |   | Sénégal, Niger ;   |
| 8) Etudes de rentabilité économique, réalisées en collaboration par plusieurs organismes :   |   | Sénégal, Mali, Niger.  |

Les travaux ainsi effectués ont permis, là où ils ont été menés à leur terme, de préciser : les sites, le choix des sols à utiliser, le calendrier et les méthodes de la culture, les aménagements de terrain, les besoins en eau, les modes d'irrigation, les surfaces et variétés à cultiver, les moyens de lutte ou de préservation contre les parasites et maladies de la canne, la durée de la campagne sucrière, les rendements agricoles et industriels probables, les délais et moyens nécessaires à la mise en route du complexe agro-industriel.

## PERSPECTIVES IMMEDIATES EN FONCTION DU POINT ACTUEL DES ETUDES

En Mauritanie, un projet de production sucrière concerne la vallée du Gorgol, pour lequel un programme général d'études a été proposé.

Au Sénégal, après achèvement des études et recherches préparatoires en 1970, un projet de sucrerie raffinée est en cours de réalisation à Richard Toll, les plantations de canne à sucre pourraient s'étendre sur 7 000 hectares.

Au Mali, des études préparatoires ont été menées jusqu'en 1968. Les périmètres irrigués de l'Office du Niger présentent des caractéristiques favorables pour une production sucrière importante et bon marché. En Haute-Volta, un projet agro-industriel pour une production d'environ 20 000 tonnes de sucre par an est opérationnel. Un appui de la recherche apparaît opportun.

Au Niger, les études et recherches préparatoires en vue d'une production de 15 000 à 20 000 tonnes de sucre par an se poursuivent dans la région de Tillabery, l'accent étant actuellement mis sur les relations sol-eau-plante en vue de réduire le coût de l'irrigation.

## LES CULTURES FRUITIERES

Ces cultures ne peuvent être pratiquées en zone sèche que là où des ressources en eau sont permanentes, qu'il s'agisse d'irrigation ou d'exploitation par les racines de la nappe aquifère.

Au plan de l'intérêt général, elles répondent aux objectifs suivants :

- améliorer l'équilibre alimentaire des populations par la diversification du régime et l'apport vitaminique ;
- approvisionner en produits frais des concentrations urbaines, et ouvrir au producteur fruitier un marché intérieur ;
- offrir des possibilités locales de développement industriel ;
- permettre certains courants d'exportation ;
- par leur poids économique, structurer l'exploitation agricole.

Dans la région considérée, les espèces fruitières traditionnellement existantes, dans les villages ou à proximité des points et cours d'eau, n'offraient que des rendements très faibles, du fait de leur rusticité, de l'absence de sélection, de fertilisation et de traitements phytosanitaires. La première tâche de la recherche fruitière a donc consisté à améliorer ou à mieux utiliser le matériel local.

Dans une seconde phase, il s'est agi de renouveler et d'étendre les vergers, et d'en diversifier les espèces tout en procédant aux sélections et aux adaptations écologiques nécessaires. Compte tenu du fait que l'expérimentation sur l'arbre fruitier requiert — le plus souvent — 5 à 10 ans, c'est une œuvre de longue haleine. Or, à l'exception du Mali, qui a été très tôt le siège de recherches fruitières remarquables, les pays de la région n'ont été sensibilisés que récemment aux problèmes fruitiers.

Les travaux de recherche et d'expérimentation fruitières ont eu principalement pour siège les stations et vergers expérimentaux du Sénégal (manguiers, agrumes, avocats, etc.), de Mauritanie (surtout pour le palmier-dattier), du Mali (manguiers, agrumes, etc.) et du Niger. La promotion fruitière a été généralement basée sur la différenciation dans le temps entre :

- les espèces à mise à fruit *rapide*, aptes par conséquent à rentabiliser de bonne heure les investissements, qu'elles soient provisoires ou permanentes (bananier, ananas, papayer, fraisier, grenadille),
- les espèces à mise à fruit *lente* (palmier-dattier, anacardier, manguiier, agrumes).

## FRUCTIFICATION RAPIDE

### Le bananier

Là où l'alimentation hydrique est suffisante (120 à 150 mm par mois), il est à sa place dans la région en raison de son aptitude à supporter d'assez fortes températures (28 °C au niveau du méristème central interne, 40 °C et plus au niveau des limbes), et de fortes insulations. Cependant il craint les vents desséchants.

La transposition des techniques de culture de zone humide en zone sèche a donné satisfaction. Les choix variétaux et les adaptations écologiques, les tests de longueur de cycle, les essais de fumure et autres techniques culturales ont permis de situer les rendements : à 40 t/ha au Sénégal dans les meilleures conditions ; à 20-30 t/ha sur le fleuve Sénégal en Mauritanie.

Sous ces climats, le cycle de végétation est rapide : 10 mois pour la première production, et de 8 à 12 mois pour les suivantes.

### Autres espèces

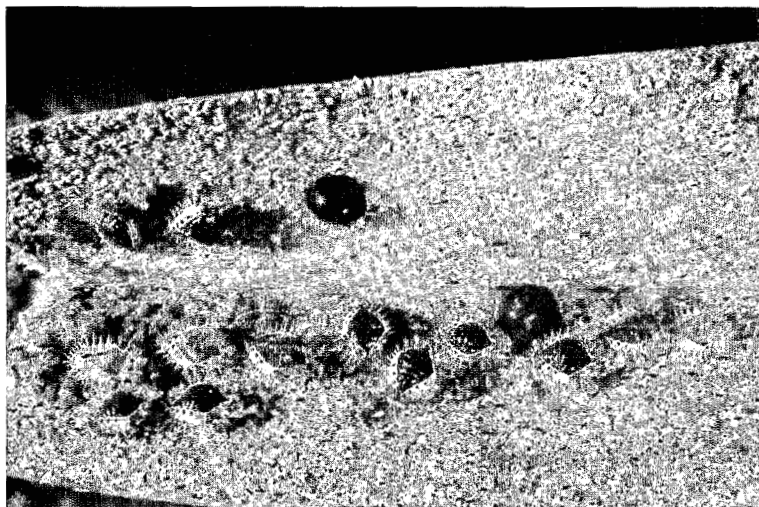
L'*ananas*, qui ne supporte pas les fortes températures et requiert 1 200 mm de pluie, n'est adapté éventuellement qu'à la frange Sud de cette région : Casamance-maritime, Sud-Ouest du Mali. Il a cependant été expérimenté avec succès sous un léger ombrage et avec irrigation sur le fleuve Sénégal à Kaédi en Mauritanie.

La *grenadille* ne peut s'envisager que sous irrigation abondante. Elle a été expérimentée à Bamako et à Nouakchott. Les produits de taille de cette liane sont utilisables comme aliment du bétail. Ses jus de fruits sont appréciés, en mélange avec d'autres espèces. La pollinisation a été étudiée en Mauritanie, où les insectes pollinisateurs font défaut.

Le *papayer* résiste aux fortes températures, mais il est exigeant en eau. Il a donné de bons résultats au Niger, en intercalaire des bananeraies, mais s'est révélé sensible aux acariens qui parasitent son feuillage.

Le *fraisier*, justiciable de techniques horticoles élaborées, a été essayé et est cultivé sur terrains maraîchers près des villes (Bamako).

La culture de la *vigne* a fait l'objet de tentatives diverses dans cette région. Elle a été expérimentée avec succès au Mali et au Niger.



Nymphes et adultes  
de *Chilocorus bipustulatus*,  
prédateur de *Parlatoria Blanchardii*,  
cochenille blanche du palmier dattier.

## FRUCTIFICATION LENTE

### Le palmier-dattier

Il est bien adapté à la partie Nord de cette région, car son appareil aérien thermophile supporte plus de 40 °C, et ses racines sont capables de s'enfoncer profondément pour chercher l'humidité.

Les recherches ont porté sur les points suivants : l'enracinement à la station de Kankossà en Mauritanie et dans diverses oasis ; la productivité ; l'association avec des cultures sous-jacentes ; et surtout les problèmes phytosanitaires, en particulier la lutte contre la cochenille *Parlatoria blanchardii* qui provoque de graves dommages. La lutte biologique contre ce parasite a été entreprise avec une coccinelle élevée en station dont on fait des lâchers sur palmeraie.

### Le manguier

Il résiste à des températures de 40 à 45 °C, mais requiert une pluviométrie de 1 000 mm dans l'année, à



Jeunes manguiers  
protégés individuellement  
contre l'Harmattan. Au fond,  
parcelle de bananiers ; Kaédi

moins d'irrigation ou de croissance des racines à proximité de la nappe aquifère. Il est planté traditionnellement dans de nombreux villages de la région.

On a constitué et observé des collections au Sénégal (Saint Louis et Kaolack), au Mali (Bamako : 90 variétés) et en Mauritanie près du fleuve Sénégal (Kaédi).

Certains problèmes physiologiques se sont posés : dépérissement, défaut de nouaison, irrégularité des floraisons et des fructifications, problèmes qui ont été soumis aux recherches.

La technique de surgreffage, qui intéresse vivement les paysans, est en cours de vulgarisation.

### **Les agrumes**

Avec des différences notables entre espèces, les *Citrus* sont capables de résister à des insolation et des températures élevées, mais nécessitent une irrigation abondante. Ils sont de plus, l'objet d'attaques parasitaires.

Les vergers d'agrumes pré-existants présentaient de graves défauts : viroses, cochenilles, etc. L'étude en a été faite notamment au Niger.

L'objectif essentiel a été la rénovation et la création de vergers comportant des variétés adaptées à chaque ambiance écologique, greffées avec du matériel indemne de viroses et résistant à la gommose à *Phytophthora*. Ces travaux ont été conduits au Sénégal, en Mauritanie, au Mali, au Niger, à partir du matériel végétal fourni par une station de l'IFAC située en Corse.

Les résultats acquis permettent d'établir en verger une gamme de variétés de pomelos, tangelos, mandariniers, orangers, limettiers et citronniers. Le développement de ces espèces est excellent dans cette région. Les traitements insecticides et acaricides ont été mis au point. Mais certains problèmes pathologiques restent à résoudre (*Phytophthora*).

### **Autres espèces**

L'*anacardier*, bien que très marginal à cette région, a été expérimenté sur la limite Sud.

L'*avocatier* s'est révélé assez bien adapté au Cap Vert au Sénégal.

Les *goyaviers* introduits des Antilles en 1972 sont à l'étude à Kaédi en Mauritanie et au Mali.



## ASPECTS TECHNOLOGIQUES

Les productions fruitières débouchent normalement sur une série de transformations technologiques, qui ont été notamment étudiées au Mali : jus d'agrumes divers, huiles essentielles de limes et bergamotes, poudre d'écorce d'orange, séchage de mangue et de pomme-cajou, confiture, pâte et gelée de fruits, etc. D'autres problèmes (technologie de la papaine) sont étudiés hors de cette région, mais les résultats y sont applicables.

## VERGERS POLYSPECIFIQUES — UNITES DE PRODUCTION

En présence de possibilités d'irrigation, les conceptions actuelles amènent à concevoir des vergers polyspécifiques, unités types de production qui peuvent accueillir d'autres plantes : vivrières, maraîchères, ou fourragères. Les principes d'établissement en sont : le choix d'une combinaison de production à revenus élevés, et l'économie de l'eau. Le problème des brise-vent utilisés en ceinture protectrice, et pour le compartimentage de l'unité, est primordial. Le plan du dispositif et la répartition des ombrages tendent à créer un microclimat favorable à plusieurs spéculations. Ces techniques ont été expérimentées au Mali, au Sénégal et dans le Sud de la Mauritanie.

Si ces exploitations atteignent une dimension suffisante et si elles sont entourées d'autres exploitations « satellites », elles peuvent s'équiper d'un atelier technologique.

Ainsi, dans les zones favorisées par la permanence de l'eau dans cette région, de telles conceptions « intégrées » d'un système agricole sont susceptibles de réaliser des foyers de progrès agricole.

## LES CULTURES LEGUMIERES

Ces cultures, qui tendent à occuper une place grandissante dans la vie économique et sociale des pays tropicaux, se situent nécessairement dans les endroits où les ressources en eau sont suffisantes tout au long de leur cycle végétatif. Sous cette réserve, en zone tropicale semi-aride, la saison sèche se prête particulièrement bien à la production de légumes à laquelle la luminosité et l'alternance des températures sont favorables. Les cultures légumières sont parmi celles qui rentabilisent le mieux l'irrigation, qu'il s'agisse d'aménagements importants, ou de micro-hydraulique villageoise, et elles sont susceptibles d'occuper en saison sèche une main-d'œuvre non utilisée par ailleurs.

De longue date, mais à l'état sporadique, des études d'adaptation variétale et de mise au point des techniques maraîchères avaient été conduites dans cette région, où certaines espèces comme l'oignon, étaient cultivées traditionnellement (Niger), la région du Cap Vert était déjà le siège d'un important développement maraîcher, sous l'impulsion d'une bonne organisation professionnelle et commerciale.

Cependant au cours des dix dernières années un programme plus systématique d'expérimentation et de recherches a été entrepris en Afrique sèche occidentale s'appuyant sur :

le Centre de Bambey au Sénégal,  
la Station de Farako-Ba en Haute-Volta,

les Stations de Tarna et Kolo au Niger,  
et un réseau de points d'essais.

Ce programme a eu pour objectifs :

- 1° l'introduction du plus grand nombre possible de variétés des espèces maraîchères choisies, et l'étude de leur comportement en fonction du milieu physique, principalement climatique ;
- 2° l'amélioration de certaines espèces autochtones, appréciées des populations ;
- 3° la mise au point des techniques de culture, des actions phytosanitaires et des successions et rotations sur terrain maraîcher de façon à régulariser le marché, et à assurer la continuité du revenu du producteur en évitant les à-coups de la surproduction temporaire ;
- 4° l'élaboration de certains procédés technologiques tels que le séchage ;
- 5° la formation des maraîchers.

Au titre des études d'adaptation climatique, il convient de mentionner les études de rationnement en eau conduites au Niger et en Haute-Volta.

Parmi les principales espèces étudiées, il faut citer dans cette région : la tomate — susceptible également d'être traitée en grande culture, comme c'est le cas au Sénégal et en Haute-Volta ; la pomme de terre, l'oignon et les haricots.

L'économie de l'exploitation maraîchère, et les divers marchés et débouchés possibles ont fait l'objet d'études particulièrement poussées.

Enfin, pour les régions très arides, mais où l'on peut néanmoins disposer d'eau de surface ou souterraine, et où l'on doit alimenter des populations non paysannes (régions minières de Mauritanie ou du Niger par exemple), les cultures maraîchères en hydroponie, sur milieu artificiel, en bacs de végétation, constituent une solution intéressante. Des essais ont été effectués dans ce domaine, en Mauritanie d'une part, et dans d'autres régions climatiques d'où le transfert technique à cette région paraît tout à fait possible aux adaptations près. Ces techniques permettent d'obtenir des rendements extrêmement importants, doubles ou triples du seuil de rentabilité suivant les espèces :

par m<sup>2</sup> : 2 kg de laitues tous les mois, 13 kg de tomates tous les 45 jours, 15 kg de concombres tous les 70 jours, 5 à 10 kg de melons tous les 3 mois.

## LES CULTURES FOURRAGERES

Traditionnellement, en Afrique sèche soudano-sahélienne, l'élevage et l'agriculture sont deux activités indépendantes, auxquelles se livrent des populations différentes.

Le thème central des activités de recherches et de développement agricole dans ce domaine a porté sur l'association de ces deux activités, au sein d'exploitations et de systèmes agricoles modernisés et intensifs ; d'une part, il s'est agi d'assurer une alimentation adéquate au bétail de trait, puis à l'ensemble du bétail par un complément en fourrages et aliments secs ; d'autre part, les recherches menées au Sénégal, au Niger, en Haute-Volta, ont concerné la culture des plantes fourragères : choix spécifiques et variétaux, études de comportement et d'adaptation écologique, rendement, etc.

*En culture pluviale :*

Les essais de comportement ont montré que peu d'espèces pérennes peuvent être proposées : *Andropogon*

*gayanus* parmi les graminées et *Clitoria ternatea* parmi les légumineuses sont celles qui résistent le mieux à la longue sécheresse. Dans le Sud de la zone (plus de 800 mm de pluie) *Stylosanthes gracilis* apporte une solution satisfaisante au problème de la sole fourragère.

Les fourrages annuels fanés ou ensilés doivent être généralement préférés : le petit mil *Pennisetum typhoides* peut fournir jusqu'à 70 t/ha de matière verte en une seule coupe, le *Pennisetum pedicellatum* (qui a été l'objet d'une sélection dans le Nord Cameroun) est également intéressant, de même que des légumineuses comme *Vigna unguiculata* et *Dolichos lablab*.

*En culture irriguée :*

D'excellents résultats ont été obtenus en Haute-Volta et au Niger avec le *Pennisetum purpureum* qui peut donner environ 250 t/ha de matière verte.

Parallèlement aux études de comportement mentionnées ci-dessus, les problèmes pratiques d'association agriculture-élevage dans divers modèles d'exploitations modernisées ont été étudiés, particulièrement au Sénégal : techniques de production et d'exploitation de fourrages cultivés incluant des sorghos-graines, la récupération, la conservation et l'utilisation de sous-produits de récoltes (paille de céréales et d'arachide), la construction d'abris pour les animaux, l'amélioration de la production du fumier.

## L'ELEVAGE ET LA MEDECINE VETERINAIRE

### PATHOLOGIE

Les recherches ont d'abord visé à libérer le cheptel des grandes maladies qui, traditionnellement, le décimaient. C'était un préalable indispensable au développement de l'élevage auquel les conditions écologiques et sociales de cette région étaient par ailleurs très propices.

#### Les maladies infectieuses

La *peste bovine* est le plus grand fléau zootechnique que l'Afrique sahélienne et soudanienne ait connu. C'est une maladie virale très contagieuse et rapidement mortelle. Aucun traitement n'étant efficace, la seule voie possible de lutte était l'immunologie. Les recherches ont abouti à la mise au point d'un vaccin, préparé sur cultures cellulaires puis lyophilisé. Il procure une immunité de longue durée et se conserve bien. On a pu ainsi, de 1964 à 1967, mener à bien la campagne conjointe de vaccination (dite P.C. 15) qui, du Tchad à Dakar, a concerné tout le cheptel bovin de cette région. Sans aller jusqu'à l'éradication totale, une considérable diminution de la fréquence de cette maladie s'est maintenue jusqu'à présent.

La *péripleurmonie* vient en second rang parmi les maladies majeures des bovins de la région. Elle est provoquée par un mycoplasme, et conduit à un amaigrissement progressif puis à la mort. Les recherches ont porté sur la mise au point d'une méthode de dépistage sérologique, et sur celle de vaccins dont les plus récents — obtenus à partir de la souche T1 — paraissent donner entière satisfaction.

Des vaccins associés péripleurmonie-peste bovine sont actuellement préparés. D'autres recherches ont déterminé les causes de la mortalité importante enregistrée autour des forages : il s'agit de la conjonc-



Séance de vaccination  
en brousse (Photo IEMVT).

tion d'une carence en phosphore et d'une infection botulinique, que l'on peut combattre par des méthodes zootechniques appropriées.

Nombre de maladies infectieuses ont reçu des solutions satisfaisantes, parmi lesquelles les *charbons* et les *pasteurelloses*, mais d'autres posent encore de graves problèmes : la *streptothricose* des bovins, la *peste équine*, les *maladies broncho-pulmonaires* des petits ruminants, etc., pour lesquelles d'importants programmes de recherches ont été engagés.

### Les maladies parasitaires

Dans la zone soudano-sahélienne, dès que la pluviométrie dépasse 600 mm et que se développent les galeries forestières le long des cours d'eau, on voit apparaître les mouches tsé-tsé, vectrices des trypanosomes qui parasitent l'homme et le bétail. Lorsque les troupeaux de zébus du Sahel transhument vers le sud en raison de la sécheresse, ils sont contaminés et progressivement décimés.

Les recherches sur les problèmes posés par les trypanosomoses autrefois principalement orientées vers la chimiothérapie, se sont progressivement dirigées vers la lutte contre les vecteurs et particulièrement les glossines. Elles comprennent des enquêtes sur le terrain pour délimiter les zones d'extension des vecteurs, ainsi que des élevages de glossines en vue de l'étude de la biologie de ces insectes, et de la mise au point des méthodes de lutte chimique et biologique. Des essais de lutte de grande envergure au moyen d'insecticides ont été menés au Sénégal et au Tchad, ils ont montré les difficultés et les limitations de la lutte chimique insecticide. Il apparaît que cette méthode pourrait être avantageusement complétée par la lutte biologique qui devrait permettre d'aboutir à une véritable « éradication ». Deux voies sont explorées : le lâcher de mâles stériles et le parasitisme des pupes.

Ces études, largement appuyées sur un laboratoire central sis près de Paris (Maisons-Alfort), vont se poursuivre avec l'aide d'un nouveau centre de recherches sur la lutte biologique contre les glossines, à Bobo-Dioulasso.

D'autres maladies parasitaires sont provoquées soit par des tiques soit par les helminthes parasites :

Les tiques de l'Afrique soudano-sahélienne ont été identifiées et répertoriées. Les méthodes de lutte sont au point, on peut donc se prémunir contre les piroplasmoses que transmettent ces arthropodes.

Les maladies du tube digestif provoquées par les helminthes et leurs relations avec les facteurs écologiques ont également été étudiées. Des traitements sont maintenant appliqués. Seule la douve géante des bovins

pose encore de graves problèmes : l'hôte intermédiaire de cet helminthe, une limnée, vit dans les petits cours d'eau et les mares où les animaux viennent s'abreuver. Si on connaît des traitements actifs capables de débarrasser les bovins de leurs douves adultes, ils sont onéreux et leur action au plan épidémiologique est faible, car les formes larvaires évoluent et les animaux traités se réinfestent.

### **Les maladies nutritionnelles**

Hormis certaines carences, notamment la carence en phosphore de la maladie dite des forages, le problème central est celui de la sous-nutrition globale du bétail de cette région. La ration des ruminants est à la fois déficiente en calories, en protéines, en sels minéraux, et en vitamines.

Les solutions résident dans une meilleure gestion des pâturages, dans l'apport de compléments alimentaires, et dans l'amélioration de l'abreuvement. Elles rejoignent le problème général de l'intégration de l'élevage à l'agriculture dans les zones agricoles, et ailleurs celui du développement de l'hydraulique pastorale en coordination avec les études de pâturages.

## **ZOOTECHNIE**

### **Amélioration des races bovines**

Les races bovines africaines présentent des qualités d'adaptation au milieu, acquises par une sélection naturelle séculaire. Loin de tendre à se priver de ce capital génétique précieux, sous prétexte que la productivité n'en est pas satisfaisante, les recherches zootechniques entreprises se sont efforcées de préserver ce bétail et de l'améliorer par sélection dans son milieu.

Le *zébu peuhl sénégalais* ou *Gobra* est un bel animal de grande taille, à robe gris clair, excellent marcheur donc adapté à la transhumance. Sa sélection entreprise au Sénégal s'y poursuit. Elle a déjà fourni de très intéressants résultats quant à la vitesse de croissance : 400 kg en 20 mois. Au pâturage naturel les mâles atteignent 600 kg en 6 ans.

On a ensuite mis l'accent sur la valeur d'élevage et le taux de vélage (satisfaisant pour les régions sahéliennes : 70 %).

Des croisements, Grobra x Guzera et Gobra x Pakistanais (Sahiwal) ont été entrepris pour l'amélioration de la production laitière, et un croisement Gobra x Brahman pour l'amélioration de la production de viande.

La race *N'Dama*, taurin de petit format, a son origine au sud de la zone considérée. Elle est « trypanotolérante ». Sa sélection est entreprise hors zone sèche, en Côte d'Ivoire (Bouaké), pour l'augmentation du format et de la vitesse de croissance. On a obtenu des animaux de 350 kg à 5 ans, donnant des carcasses de 180 kg, nettement au-dessus de la moyenne du marché africain.

Cette race est dorénavant utilisée avec succès dans les ranches infestés de tsé-tsé (savanes soudano-guinéennes) où elle représente un important potentiel de production de viande.

Parallèlement, on tente de déterminer les « supports » de la trypanotolérance.

Pour l'amélioration laitière, la *N'Dama* est croisée avec la Jersiaise, mais ce croisement abaisse la trypanotolérance.

Zébu Peulh sénégalais  
(Gobra) (Photo IEMVT).



D'autres problèmes de zootechnie sollicitent également la recherche :

- la sélection du zébu Azawack au Niger,
- la sélection du zébu Bororo, adapté aux longues marches.

Un effort particulier reste à faire pour l'amélioration des petits ruminants, ces animaux résistent en effet mieux que les bovins dans la région où sévit la sécheresse.

### **Amélioration des conditions d'entretien du bétail**

Il s'agissait de déterminer les meilleures conditions de l'alimentation du bétail. Des recherches ont d'abord porté sur la valeur alimentaire des produits disponibles. On en connaît maintenant la valeur bromatologique : des expériences de digestibilité ont été faites avec la paille de riz, les fanes d'arachide, etc. Ce programme se poursuit sur les plantes fourragères.

Des études agrostologiques sont conduites sur la composition floristique des pâturages naturels, et sur leur évolution en fonction des facteurs écologiques, de la charge en bétail et de la répartition des points d'eau, etc. La formation des « brousses tigrées » a pu être expliquée.

L'économie du pâturage, avec mise en défens une partie de l'année, est le thème final de cette approche.

On a entrepris au Sénégal l'étude expérimentale de l'engraissement en parc, dite « embouche intensive », qui permet d'obvier à la pénurie de bétail en bon état pour la consommation en longue saison sèche. Ces essais ont démontré qu'avec une ration concentrée, on pouvait obtenir pendant trois mois un gain quotidien de 800 g, ce qui met sur chaque carcasse 70 kg de viande supplémentaire.

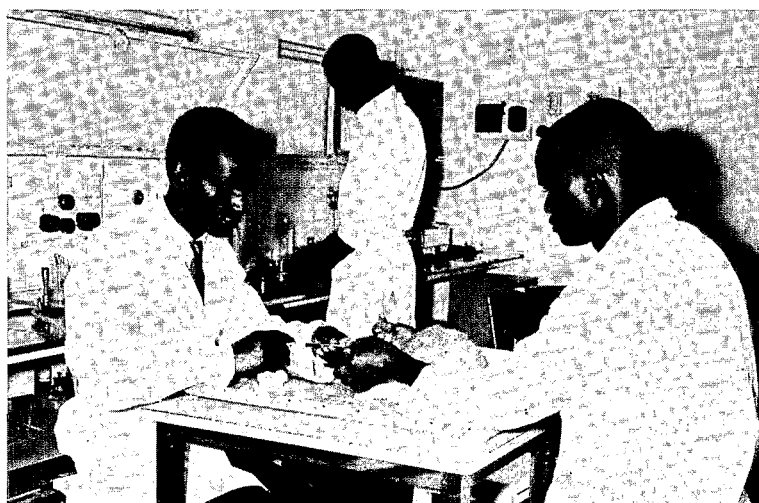
Les résultats de ces recherches sont passés dans le domaine de l'application, dans les régions où la pluviométrie est suffisante pour la culture des fourrages ou l'obtention des sous-produits de l'agriculture. Le Sahel est, à cet égard, tributaire des zones écologiques voisines situées au Sud.

Les études de ranches sont soumises à l'analyse économique prévisionnelle en vue du choix des modalités d'exploitation les plus rentables. Des réalisations sont maintenant en place au Sénégal et au Niger.

## PRODUCTIONS DE VACCINS

Hors du domaine de la recherche proprement dite mais en étroit rapport avec elle, les laboratoires de Dakar, Niamey et Fort-Lamy, sont d'importants producteurs de vaccins contre les maladies infectieuses du bétail. Le bilan de leurs fabrications en 1972 est le suivant (nombre de doses produites) :

	DAKAR	NIAMEY	FORT LAMY
<i>Grands animaux</i>			
Charbon bactérien	—	146 500	549 000
Charbon symptomatique	1 322 090	182 700	1 299 210
Pasteurellose bovine	838 530	103 300	660 850
Péripneumonie	4 339 199	1 126 880	77 820
Peste bovine	6 422 650	2 408 050	1 068 000
Mixte Peste-Péripneumonie	—	—	4 028 000
Rage	3 130	—	38 876
Anatoxine botulique	215 527	—	—
<i>Vaccins aviaires</i>			
Typhose	7 610	—	—
Choléra aviaire	105 590	—	—
Variole aviaire	57 550	—	—
Pseudo Peste	1 274 640	—	98 000
Polyvalent	64 250	—	235 450



Préparation du virus-vaccin  
bovipestique lapinisé.  
Laboratoire de Dakar-Hann (Sénégal).

(Photo IEMVT)

Ces laboratoires produisent également, en quantités plus limitées, à des fins de diagnostic, des sérums et divers produits biologiques.

## FORMATION DE VETERINAIRES ET TECHNICIENS

Parallèlement à l'action de recherche s'est déroulée, depuis 1921, une importante action de formation de vétérinaires et de techniciens d'élevage originaires des pays de la région.

Les docteurs vétérinaires ont suivi l'enseignement post-universitaire préparant à l'exercice de la profession en pays tropicaux. D'autres vétérinaires, ingénieurs ou techniciens, ont suivi des stages de spécialisation ou de perfectionnement dans diverses disciplines zootechniques ou vétérinaires et sur les problèmes économiques qui leur sont liés.

Pour les Etats de l'Afrique tropicale à longue saison sèche, les effectifs suivants ont été formés ou perfectionnés grâce à l'Institut spécialisé :

Etats	Vétérinaires spécialisés depuis 1921		Vétérinaires en stage depuis 1961	Techniciens en stage depuis 1961		Total
	(a)	(b)		(c)	(d)	
Sénégal	28	23	3	25	2	81
Mauritanie	6	6	2	3	—	17
Mali	19	13	2	9	—	43
Haute-Volta	10	7	1	2	—	20
Niger	4	4	—	12	2	22
Tchad	2	2	—	4	3	11
TOTAL	69	55	8	55	7	194

(a) nombre d'élèves

(b) nombre de diplômés

(c) nombre de stagiaires (perfectionnement 6 à 8 mois)

(d) nombre de stagiaires (en formation 3 à 4 ans).

## LES FORETS ET LA PECHE CONTINENTALE

### LA SYLVICULTURE ET LE REBOISEMENT

Les recherches et études effectuées dans ce domaine sont ainsi réparties :

1° les études sur le tempérament des essences locales et adaptées ont porté sur plusieurs dizaines d'espèces, pour la plupart de croissance très lente. L'établissement des relations âge-diamètre est en cours.

Une mention particulière est à faire pour *Acacia albida* dont l'influence améliorante sur les sols et sur le rendement des cultures a été confirmée au Sénégal.

2° Les introductions d'espèces exotiques ont donné des résultats avec *Prosopis sp.*, *Melaleuca sp.*, *Gmelina sp.*, *Atriplex sp.*, et surtout les *Eucalyptus* de zone sèche d'Australie. Les essais d'élimination d'espèces ont porté, au Niger, sur 63 espèces dont 16 sont en observation.

3° L'amélioration du matériel végétal par l'étude comparative des provenances et la recherche d'écotypes se poursuit depuis de nombreuses années, et a donné quelques bons résultats sur certaines espèces



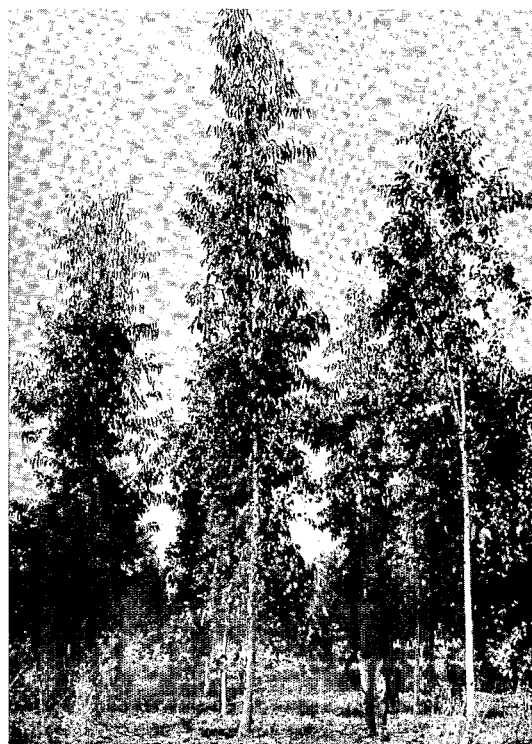
locales comme *Acacia sénégale*, ou introduites : *Melaleuca leucodendron* (afforestation des sols légèrement salés) et plusieurs *Eucalyptus*. Sur *Eucalyptus* des techniques de greffage et de bouturage sont mises au point au Niger, et on suit d'autre part le comportement d'hybrides (*Eucalyptus alba* x *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus alba* x *Eucalyptus tereticornis*).

4° Les méthodes de sylviculture en zone sèche sont étudiées dans toutes les stations de la région. Les techniques de production de plants sont mises au point. La préparation des sols en zone sèche a fait l'objet de nombreuses expérimentations, qui ont permis d'adopter certaines techniques, mécanisées ou manuelles, en relation avec les conditions biocénotiques et compte tenu du caractère pluriannuel des végétaux traités. Des études sont en cours sur le redressement des carences minérales des sols. Des reboisements expérimentaux sont effectués chaque année.



Restauration des sols  
par le GERES à Ouahigouya.  
Construction  
de banquettes de niveau  
par une niveleuse  
en deux passages (Photo CTFT).

*Eucalyptus Alba* de 3 ans ;  
plantation sur bourrelet  
exécuté au tracteur.  
Saga, près de Niamey (Niger). (Photo CTFT).



Dans les cas où les spéculations agronomiques justifient l'équipement et l'aménagement d'un point d'eau, la sylviculture irriguée pourrait présenter de l'intérêt, mais elle n'a pas jusqu'ici fait l'objet de recherches poussées.

5° L'appui forestier au secteur agro-pastoral s'est manifesté dans le domaine des brise-vents et haies vives, près des périmètres irrigués (Niger, Haute-Volta) et dans celui des créations de boisements et bois de village (Niger), ce qui souligne la nécessité d'une animation rurale concertée.

## LES ETUDES ET RECHERCHES EN PISCICULTURE ET PECHE CONTINENTALES

Elles ont porté sur les vallées des fleuves (Sénégal, Niger) sur les lacs (Tchad), et sur les retenues artificielles d'eau (Haute-Volta). Elles ont visé la formation des pêcheurs, des moniteurs et des cadres de pêche, ainsi que des procédés de conservation du poisson.

Au Sénégal, les recherches ont concerné les possibilités d'aménagement halieutique en vue d'améliorer la production et l'exploitation des eaux continentales. Elles ont porté sur le milieu écologique : hydrographie, climatologie, étude physico-chimique des eaux ; sur le milieu biologique : peuplement piscicole ; sur le milieu humain et sur le matériel de pêche.

Des études comparables ont commencé au Mali pour la pêche dans le moyen Niger. La pêche constitue, en effet, une importante activité économique de ce pays : 100 000 tonnes de poisson frais produites par an, dont 90 % sont transformés en poisson séché et fumé (Mopti). Des études ont été faites sur les insectes ichthyophages parasitant le poisson séché et fumé (30 % de pertes).

En Haute-Volta ont été étudiées les conditions de mise en valeur pour la pêche, de sept retenues artificielles d'eau. Ces retenues ont joué un rôle attractif pour les populations voisines car elles assurent leurs besoins en eau, mais elles abritent des mollusques vecteurs de bilharziose et cette situation est toujours préoccupante. Des aménagements expérimentaux ont été proposés dans le but d'adapter les interventions à la situation particulière de chaque retenue.

Au Tchad, pendant six ans, une opération de formation professionnelle des pêcheurs sur le lac a été menée. Elle a porté sur l'amélioration des méthodes, engins et embarcations de pêche, ainsi que sur la conservation et la commercialisation du poisson.

## LE MACHINISME AGRICOLE

Dans cette région, les essais les plus anciens de matériel agricole remontent à 1925 environ, au Sénégal notamment (Station de Bambey) et au Mali. Ils portaient sur la culture *attelée*, et ont abouti alors à une lente diffusion de l'emploi du semoir et de la houe au Sénégal, de la charrue, de la houe et de la charrette au Mali. Le but poursuivi était surtout d'accélérer l'exécution de certains travaux au début de la courte saison des pluies. Après 1945, des actions similaires ont été entreprises en Haute-Volta, au Niger, au Nord-Cameroun, au Tchad.

L'intensification de la mécanisation s'est étendue à la *motorisation*, avec le concours des Instituts de recherches spécialisés par cultures, et des Sociétés chargées de la vulgarisation et de l'encadrement pour la mise

en valeur agricole. Quelques Centres nationaux d'essais de matériel agricole (Mali) y ont également contribué.

Au cours de la dernière décennie, trois usines de matériel agricole ont été construites : l'une au Sénégal (semoirs, multiculteurs, charrettes), une autre au Cameroun (charrues, multiculteurs, semoirs, charrettes, pulvérisateurs), et une troisième moins importante et plus récente, en Haute-Volta.

Les principaux travaux d'expérimentation sur le matériel agricole dans la région ont été les suivants :

*Au Sénégal* : Principalement basés sur le Centre de recherches agronomiques de Bambey, les essais et études ont suivi deux orientations :

- conception de nouveaux matériels ou modification de matériels existants, en fonction des données et résultats des autres disciplines agronomiques ;
- essais systématiques de matériels existants ou proposés sur le marché.

Les recherches ont permis de mettre au point plusieurs chaînes de culture *attelée* (traction équine, puis bovine) dont un certain nombre d'éléments sont maintenant construits sur place. Des matériels de traitement de récoltes ont également été conçus.

Les problèmes de la *motorisation* ont été abordés : il convient en effet de s'entourer de toutes les garanties contre une motorisation hâtive et mal préparée.

*Au Mali* : L'existence, dans le pays, d'un abondant et excellent bétail de trait a conduit le Gouvernement à encourager la culture attelée. Le Centre national collabore étroitement avec les organismes spécialisés français, à l'adaptation des matériels à la nature des sols.

Au cours des dix dernières années ont été importées au Mali, environ 50 000 charrues, 15 000 multiculteurs et 30 000 charrettes.

*En Haute-Volta* : Les études ont porté sur deux thèmes, la traction asine et la motorisation, en relation avec les résultats des autres recherches agronomiques. On a mis au point une houe légère, dite « Manga », dont l'action superficielle vise à remplacer le labour. Cette houe a été largement diffusée. Une petite charrette légère construite localement a obtenu un grand succès auprès des paysans.

*Au Niger* : En collaboration avec l'Union Nigérienne de Crédit et de Coopération, les organismes français spécialisés ont mis au point des matériels à traction animale, adaptés aux terres légères de certains secteurs agricoles de ce pays. Les techniques culturales conservatrices des sols ont été étudiées avec ces matériels.

*Au Nord-Cameroun* : Depuis 1950, le Service de l'Agriculture avait entrepris sur la station de Guétalé, l'étude de la mécanisation intégrale de la culture de l'arachide, en relation avec une politique de conservation des sols. Mais ces essais durent être interrompus pour des raisons à la fois techniques — liées à la physique des sols — et économiques.

Les organismes de développement agricole du Nord-Cameroun, entreprirent avec des matériels lourds des essais de récupération de terres difficiles à cultiver, et de techniques de préservation des sols.

En rizière, dans la basse vallée du Logone, on a étudié la riziculture mécanisée et motorisée, et l'on a mis au point les matériels et les techniques adaptés aux conditions de sol et de climat de cette zone.

*Au Tchad* : Depuis une quinzaine d'années, sur la base d'études préalables, la culture attelée se développe sous l'impulsion des organismes de mise en valeur et notamment la charrue avec des équipements butteur et sarcler pour la culture du cotonnier.

Actuellement, dans l'ensemble de la région, de nouvelles expérimentations et études de matériels sont en cours. Il faut citer entre autres :

- 1) Un semoir polyvalent et une bineuse à traction animale à trois rangs, destinés principalement aux zones agricoles les plus arides, qui permettront d'utiliser pleinement l'énergie animale ;
- 2) des motoculteurs simples et robustes adaptés aux conditions locales de travail en cultures sèches et en cultures irriguées, et équipés d'une pompe d'irrigation pour ces dernières ;
- 3) Le choix des matériels de culture cotonnière les mieux adaptés.

La formation des techniciens de machinisme agricole a été entreprise très activement au profit de tous les pays de la région, et tout particulièrement au Tchad et au Mali, où l'on procède également au recyclage sur le terrain, dans cette spécialité, des techniciens d'encadrement agricole.

Des programmes et orientations de travail pour l'avenir ont été préparés, en étroite concertation avec les Gouvernements de ces pays, et avec l'Organisation Internationale pour l'Alimentation et l'Agriculture.

## LA PROTECTION DES RECOLTES STOCKEES

Ce problème important dans l'ensemble des pays tropicaux concerne particulièrement les récoltes de produits vivriers sur lesquelles les pertes dues au parasitisme atteignent 25 % en cours de stockage, mais également les denrées destinées à l'industrie locale ou à l'exportation.

Dans ce dernier domaine, l'organisation commerciale et celle du stockage ont permis de juguler très tôt les ravages du parasitisme. Il n'en a pas été de même pour les produits vivriers, généralement non exportés, de faible valeur commerciale.

Il a donc été nécessaire d'étudier des procédés peu coûteux d'emmagasiner et de préservation contre le parasitisme. Des études de greniers, silos, et autres moyens de mise en réserve ont permis de préciser les meilleurs dispositifs de stockage familial ou villageois.

Des recherches ont été entreprises sur la biologie des parasites des denrées stockées et sur les divers procédés de lutte contre ces parasites, proposés à la vulgarisation.

Par exemple, on vulgarise la protection des stocks de grains — au stade individuel — par traitement de la denrée emballée en sacs plastiques avec des capsules de tétrachlorure de carbone. Des matériels plus élaborés sont proposés pour les stocks plus importants.

Dans ce domaine, il convient de rappeler les études sur la préservation contre les toxines engendrées par *Aspergillus flavus* sur les récoltes d'arachide.

## L'INTENSIFICATION DES SYSTEMES CULTURAUX.

L'agriculture traditionnelle dans cette région est caractérisée par :

- l'utilisation d'un matériel végétal rustique mais peu productif,
- une culture essentiellement manuelle,
- une disponibilité en terres suffisante pour maintenir un niveau de fertilité des terres relativement bas mais constant,
- une économie d'auto-consommation.

Cette agriculture est restée longtemps en équilibre avec le milieu physique et humain.

Avec la croissance et la fixation de la population rurale, l'augmentation du taux d'occupation des terres a entraîné le raccourcissement, voire la suppression des jachères, sans que les paysans aient pu compenser réellement cette exploitation moins extensive — c'est-à-dire de plus fortes exportations d'éléments minéraux par les récoltes — par des pratiques plus intensives de fumure et de travail du sol.

D'autre part, les besoins d'une population citadine qui s'accroît rapidement, la naissance de nouvelles couches sociales plus évoluées parmi le monde rural, font que l'exploitation paysanne traditionnelle apparaît anachronique. Des systèmes modernisés de production, faisant appel aux nouvelles techniques et aux nouveaux matériels biologiques définis par la recherche, et adaptés aux conditions économiques et sociales actuelles, doivent être mis au point.

Sur ce thème, d'importants travaux pluridisciplinaires ont été engagés depuis plusieurs années au Sénégal avec le concours des spécialistes du développement agricole.

Basées sur les résultats des recherches concernant :

- le potentiel de fertilité et la fertilisation des sols,
- les nouvelles obtentions végétales,
- les vocations culturales des diverses zones agricoles,
- les matériels agricoles adaptés aux cultures et aux sols,
- les rotations et assolements intensifs,

ces études portent en outre sur les dates et temps de travaux, les besoins en main-d'œuvre de l'exploitation suivant les contraintes climatiques et techniques, notamment l'équipement mécanique.

La synthèse de ces études permet de concevoir des modèles d'exploitation répondant au mieux aux différentes situations écologiques et socio-économiques.

De tels modèles testés au Sénégal, permettent : une meilleure adaptation des thèmes techniques aux conditions du milieu physique et humain, l'étude des contraintes — et notamment de la contrainte travail — et la mise en évidence des effets économiques de ces thèmes techniques.

Au-delà de ce stade d'étude en station ou sur point d'essai, on a ressenti la nécessité d'aborder l'ensemble des problèmes agronomiques, économiques et sociaux du monde rural, que pose le transfert de nouvelles techniques dans le milieu paysan. L'intégration de tous ces facteurs ne peut se faire que dans le contexte socio-économique et à une échelle suffisante. C'est l'objectif des « Unités Expérimentales de Développement » réalisées dans le Sud et l'Est de la région du Sine-Saloum au Sénégal depuis 1968. L'intégration de l'élevage à l'agriculture, doit s'étudier à ce niveau. Il en est de même de la rotation des cultures dites « de rente », et des productions dont le prix est insuffisant pour permettre l'équipement et l'approvisionnement de l'exploitation.

Ainsi, la culture cotonnière confirme son rôle de moteur du développement agricole en raison de la relative sécurité de la commercialisation de sa récolte (prix garanti et marché bien organisé) : elle facilite l'acquisition, par le paysan, des engrais dont les effets se prolongent au-delà de la culture du cotonnier sur les cultures vivrières qui lui succèdent. Cependant cette culture ne peut concerner qu'une faible partie de la région considérée ici, sauf à la pratiquer en conditions d'irrigation.

*Sur un plan plus général* partout où, dans cette région sèche, l'irrigation se révèle possible du fait de la permanence des ressources en eaux de surface ou souterraines, en raison même du coût souvent élevé de cette irrigation, il est essentiel d'en valoriser au maximum les effets en faisant appel à des cultures dont les produits pourront procurer d'importantes ressources monétaires (canne à sucre, coton, fruits, légumes, maïs). Il devient alors possible de concevoir ces périmètres irrigués comme des foyers de rayonnement du progrès agricole sur les zones agricoles voisines où l'irrigation n'est pas possible, mais où le transfert des ressources monétaires nées de l'irrigation permettra une certaine intensification technique (fertilisation des sols, équipement, traitements sanitaires). C'est l'orientation souhaitable d'une des formes d'intégration des résultats de la recherche dans cette région.

## **PUBLICATIONS DES INSTITUTS DE RECHERCHE GROUPES AU SEIN DU GERDAT**

Les travaux réalisés par les chercheurs des Instituts de recherche agronomique appliquée donnent lieu, outre les études réalisées pour le compte des Etats, à parution d'articles dans les revues :

- **AGRONOMIE TROPICALE**, revue mensuelle fondée en 1946  
(110, rue de l'Université, Paris-7<sup>e</sup>).
- **BOIS ET FORETS DES TROPIQUES**, revue bimestrielle fondée en 1947  
(45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 95-Nogent-sur-Marne).
- **COTON ET FIBRES TROPICALES**, revue trimestrielle fondée en 1946  
(34, rue des Renaudes, Paris-17<sup>e</sup>).
- **FRUITS**, revue mensuelle fondée en 1945  
(6, rue du Général-Clergerie, Paris-16<sup>e</sup>).
- **MACHINISME AGRICOLE ET TROPICAL**, revue trimestrielle fondée en 1956  
(Parc de Tourvoie, 92-Antony).
- **OLEAGINEUX**, revue internationale des Corps Gras, revue mensuelle fondée en 1946  
(11, Square Pétrarque, Paris-16<sup>e</sup>).
- **REVUE D'ELEVAGE ET DE MEDECINE VETERINAIRE DES PAYS TROPICAUX**, revue trimestrielle fondée en 1947  
(10, rue Pierre-Curie, 94-Maisons-Alfort).
- **Les Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays Chauds** présentèrent sept années durant, en supplément à l'Agronomie Tropicale, les résultats de la recherche  
**TECHNIQUE ET DEVELOPPEMENT**  
(110, rue de l'Université, Paris-7<sup>e</sup>)  
en a pris la suite depuis 1972.
- **CAFE - CACAO - THE**, revue trimestrielle fondée en 1957. (34, rue des Renaudes, Paris-17).
- **REVUE GENERALE DU CAOUTCHOUC ET DES PLASTIQUES**, revue mensuelle fondée en 1924.  
(42, rue Scheffer, Paris-16<sup>e</sup>).

Les travaux publiés dans ces deux dernières revues concernent particulièrement les zones tropicales humides.

**ANNEXE B.R.G.M.**

**Carte d'orientation hydrogéologique**



## PRECAMBRIEN

### INFRACAMBRIEN METAMORPHIQUE

#### — BASSIN DE TAOUDENI ET VOLTAÏEN



série schisto-gréseuse et quartzitique  
et termes volcaniques

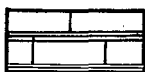
### INFRACAMBRIEN SEDIMENTAIRE

#### — BASSIN DE TAOUDENI



alternance de grès, de calcaire et d'argile

nappe discontinue liée à la  
karstification des calcaires



calcaire argileux

nappe distontinue liée à la  
karstification des calcaires



série argileuse



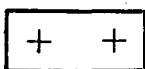
alternance de calcaire dolomitique et  
de grès

nappe discontinue liée à la  
karstification des calcaires  
dolomitiques



série à dominante gréseuse

### PRECAMBRIEN C — D



Cristallin : granite et granitoïdes  
Cristallophyllien : micaschistes, gneiss

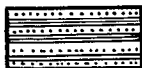
## PRIMAIRE

### CARBONIFERE



#### — BASSIN DE TAOUDENI

calcaire, grès, argile



#### — BASSIN DU TCHAD

grès, argile, Viséen supérieur, Westphalien



calcaire et marne Viséen supérieur, Westphalien



série gréseuse compréhensive  
Cambro-Ordovicien, Viséen inférieur

nappe généralisée

### SILURIEN - DEVONIEN



#### — BASSIN DE TAOUDENI ET GUINEE

schiste, grès, argilite, calcaire colithique

nappe généralisée  
possible (non démontrée)

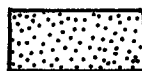


#### — BASSIN DU TCHAD ET DU NIGER

série gréseuse compréhensive  
Cambro-Ordovicien, Viséen inférieur

nappe généralisée

### CAMBRO-ORDOVICIEN SUPERIEUR



#### — BASSIN DE TAOUDENI ET DE GUINEE

série gréseuse (grès, grès quartzite)



#### — BASSIN DU TCHAD ET DU NIGER

série gréseuse bloquée dans une série compréhensive  
Cambro-ordovicien, Viséen inférieur

### CAMBRO-ORDOVICIEN INFERIEUR METAMORPHIQUE



#### — BASSIN DE TAOUDENI

schiste, grès, quartzite, dolomies, cipolins,  
et termes volcaniques

### CAMBRO-ORDOVICIEN INFERIEUR



#### — BASSIN DE TAOUDENI

grès, quartzites, pelites, shales, dolomies, jaspes

## QUATERNAIRE

### — BASSIN SENEGALO-MAURITANIEN

sables dunaires

nappe généralisée



### — BASSIN DU TCHAD

alternance de niveaux sableux à  
sablo-argileux et argileux

nappe généralisée

### — BASSIN DE TAOUDENI

épandage alluvial



Recouvrement dunaire (grands ergs)

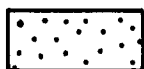
## SECONDAIRE ET TERTIAIRE

### BASSINS SENEGALO-MAURITANIEN, DE TAOUDENI, DU NIGER ET DU TCHAD

### — CONTINENTAL TERMINAL

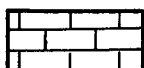
série sablo-argileuse souvent grossière

nappe généralisée



### — PALEOCENE

calcaires et marno-calcaires encadrés par  
deux couches d'argile



### — CRETACE MOYEN ET SUPERIEUR

alternance de calcaire, marno-calcaire,  
argile

nappe généralisée



### — CONTINENTAL INTERCALAIRE

grès plus ou moins consolidés et argileux

nappe généralisée

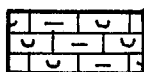


### BASSIN SENEGALO-MAURITANIEN

### — EOCENE

supérieur : argiles  
moyen : calcaires-marno-calcaires  
inférieur (Yprésien) : argiles feuilletées

nappe généralisée  
dans les zones  
karstifiées

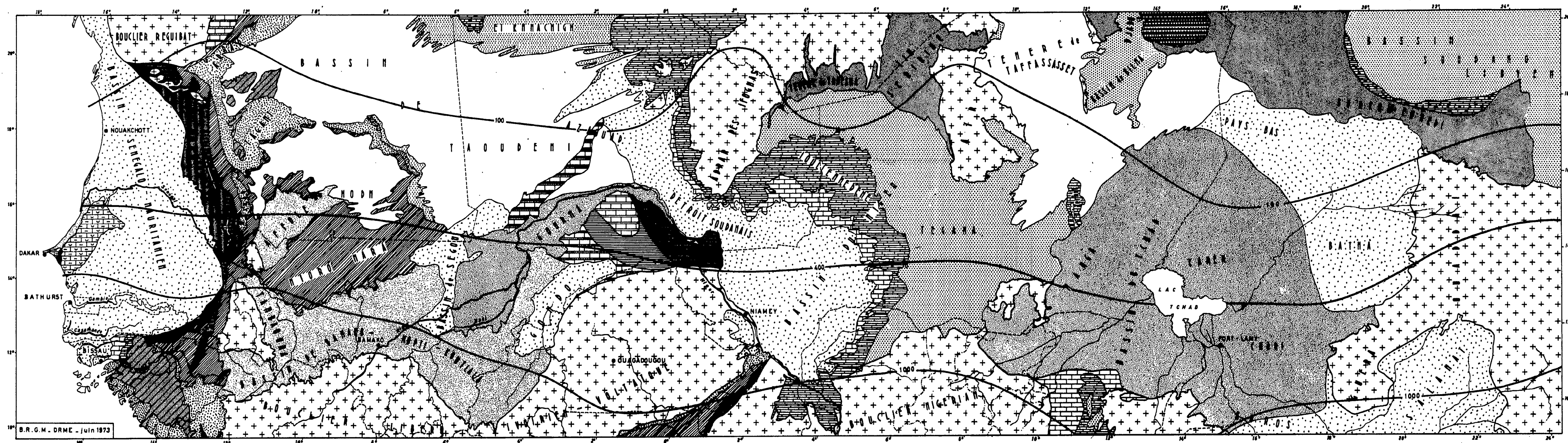


### — MAESTRICHTIEN - PALEOCENE

grès - sables (Maestrichtien)  
calcaires (Paléocène)

nappe généralisée  
nappe généralisée dans  
zones karstifiées  
(Cap Vert)





Cette mire doit être lisible dans son intégralité  
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLIJDQCGUVWMNSZXKY  
 zsaecmuvnwxfkhdpggyjlt 7142385690  
 Pour A2 A3 A4: ABERPFTHLIJDQCGUVWMNSZXKY  
 zsaecmuvnwxfkhdpggyjlt 7142385690

